

# Encuentros en la Biología



RAMÓN MARGALEF (1919-2004)



## HOMENAJE A MARGALEF

Limnología  
*El río Chíllar*  
*Lagunas de Campillos*  
*Lagunas costeras*

Computación  
*Vida artificial*

Vida y Obra  
*Zuckerlandl*

## Equipo Editorial y Créditos

### Co-Editores:

José María Pérez Pomares

[jmperezp@uma.es](mailto:jmperezp@uma.es)

Biología del desarrollo y cardiovascular

*Coordinación general- Editoriales- Entrevistas*

Miguel Ángel Medina Torres

[medina@uma.es](mailto:medina@uma.es)

Biología Molecular y de Sistemas-Biofísica-

Bioquímica

*Coordinación general- Editoriales- Monitor-*

*Maquetación*

### Comité editorial ejecutivo:

Alicia Rivera

[arivera@uma.es](mailto:arivera@uma.es)

Neurobiología

Enfermedades neurodegenerativas

*La imagen comentada*

Ana Grande

[agrande@uma.es](mailto:agrande@uma.es)

Genética-Virología, Patogénesis virales

*Rincón del doctorando*

Antonio Diéguez

[dieguez@uma.es](mailto:dieguez@uma.es)

Filosofía de la Ciencia

*A Debate-Recensiones*

Carmen González

[carmen.glez@uma.es](mailto:carmen.glez@uma.es)

Biblioteconomía

*Calidad y difusión*

Enrique Viguera

[eviguera@uma.es](mailto:eviguera@uma.es)

Genética- Genómica

*Monográficos-Eventos especiales*

Héctor Valverde Pareja

[hvalverde@uma.es](mailto:hvalverde@uma.es)

Biología evolutiva molecular

*Coordinación de espacios Web*

José Carlos Dávila

[davila@uma.es](mailto:davila@uma.es)

Biología Celular -Neurobiología

*¿Cómo funciona?*

Juan Carlos Aledo

[caledo@uma.es](mailto:caledo@uma.es)

Bioquímica-Biología Molecular,

Energética de procesos biológicos

*Vida y obra*

Juan Carlos Codina

[jccodina@uma.es](mailto:jccodina@uma.es)

Microbiología, Educación Secundaria

*Ciencias en el Bachillerato*

Luis Rodríguez Caso

[caso@eelm.csic.es](mailto:caso@eelm.csic.es)

Técnicas de Laboratorio

*Calidad y difusión*

Ramón Muñoz-Chápuli

[chapuli@uma.es](mailto:chapuli@uma.es)

Biología del desarrollo y cardiovascular

*Coordinación de edición electrónica- Foros*

*de la Ciencia*

### Encuentros en la Biología

Revista de divulgación científica

(Indexada en Dialnet)

Edición electrónica:

[www.encuentros.uma.es](http://www.encuentros.uma.es)

Correspondencia a:

Miguel Ángel Medina Torres

Departamento de Biología Molecular y Bioquímica

Facultad de Ciencias

Universidad de Málaga

29071 Málaga

[medina@uma.es](mailto:medina@uma.es)

[encuentrosenlabiologia@uma.es](mailto:encuentrosenlabiologia@uma.es)

### Entidad editora:

Universidad de Málaga

Editado SIN FINANCIACIÓN INSTITUCIONAL

Depósito Legal: MA-1.133/94

ISSN (versión electrónica): 2254-0296

ISSN (versión impresa): 1134-8496

Diseño:

Raúl Montañez Martínez [raulemm@gmail.com](mailto:raulemm@gmail.com)

### Comité editorial asociado:

Alberto Martínez

[almarvi@wanadoo.es](mailto:almarvi@wanadoo.es)

Educación Ambiental, E. para el Empleo

Alejandro Pérez García

[aperez@uma.es](mailto:aperez@uma.es)

Microbiología, Interacción planta-patógeno

Enrique Moreno Ostos

[quique@uma.es](mailto:quique@uma.es)

Ecología- Limnología

Félix López Figueroa

[felix\\_lopez@uma.es](mailto:felix_lopez@uma.es)

Ecología-Fotobiología, Cambio climático

Francisco Cánovas

[canovas@uma.es](mailto:canovas@uma.es)

Fisiología Molecular Vegetal, Bioquímica y

Biología Molecular

Jesús Olivero

[jesusolivero@uma.es](mailto:jesusolivero@uma.es)

Zoogeografía, Biodiversidad animal

Juan Antonio Pérez Claros

[johnny@uma.es](mailto:johnny@uma.es)

Paleontología

Margarita Pérez Martín

[marper@uma.es](mailto:marper@uma.es)

Fisiología Animal

Neurogénesis

María del Carmen Alonso

[mdalonso@uma.es](mailto:mdalonso@uma.es)

Microbiología de aguas, Patología vírica de peces

María Jesús García Sánchez

[mjgs@uma.es](mailto:mjgs@uma.es)

Fisiología Vegetal, Nutrición mineral

María Jesús Perlés

[Mjperles@uma.es](mailto:Mjperles@uma.es)

Geomorfología, Riesgos medioambientales

M. Gonzalo Claros

[claros@uma.es](mailto:claros@uma.es)

Bioquímica-Biología Molecular y Bioinformática

Raquel Carmona

[rcarmona@uma.es](mailto:rcarmona@uma.es)

Ecofisiología, Biorremediación

Salvador Guirado

[guirado@uma.es](mailto:guirado@uma.es)

Biología Celular-Neurobiología

Trinidad Carrión

[trinicar@uma.es](mailto:trinicar@uma.es)

Ciencias de la Salud, E-Salud

### Periodicidad:

Encuentros en la Biología publica 4 números ordinarios (uno por trimestre) y al menos 1 número extraordinario monográfico al año.

El equipo editorial de esta publicación no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores colaboradores.

## EDITORIAL

Con el presente número de *Encuentros en la Biología* se cierra el volumen 7 de la publicación. Y lo hacemos en el momento en que se cumplen 10 años del fallecimiento de uno de los científicos españoles más influyentes y reconocidos internacionalmente, el ecólogo Ramón Margalef. En *Encuentros en la Biología* le rendimos un merecido homenaje de una de las mejores maneras posibles, con la semblanza personal trazada por uno de sus discípulos, el Dr. Xavier Niell. Completan el homenaje un *Editorial* especial y una galería de fotografías y datos biográficos y bibliográficos. Por otra parte, parece apropiado que en un número donde se rinde homenaje a Margalef parte de los artículos

publicados tengan que ver con una de sus especialidades, la Limnología. En un *Editorial invitado* el Dr. Enrique Moreno Ostos comenta una iniciativa llevada a cabo con sus alumnos de la asignatura optativa Limnología y presenta tres trabajos seleccionados entre los realizados por dichos alumnos, estudios sobre el río Chillar, las lagunas de Campillos y las lagunas costeras del arco atlántico-mediterráneo español. Un cuarto trabajo completará este ciclo en un número futuro de *Encuentros en la Biología*.

En este número inicial del volumen 7, el espacio dedicado al homenaje a Margalef ha obligado a "sacrificar" la sección SEBBM Divulgación, aunque en futuros números continuará nuestra colaboración con el

área de divulgación de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular, publicando nuevos artículos que originalmente vieron la luz en la URL SEBBM Divulgación. Entre las secciones habituales, en el presente número de *Encuentros en la Biología* no faltan los *Foros de la ciencia*, *La imagen comentada* y la sección *Monitor* y aparece una nueva contribución para la sección *Vida y obra* (en esta ocasión, centrada en la figura no suficientemente conocida de Émile Zuckerkandl).

Un artículo sobre vida artificial completa los contenidos de este número.

Los co-editores

1

## Índice

Editorial	1
<i>Foros de la Ciencia</i>	2
La imagen comentada	3
<i>Monitor</i>	4
Editorial especial: Recordando a Ramón Margalef	5
<i>Recuerdo de Ramón Margalef</i>	7
Reflexiones por una enseñanza activa y creativa en Biología	11
<i>Una nota sobre el estado ecológico del río Chillar</i>	13
Estudio de aves acuáticas en la Reserva Natural de las Lagunas de Campillos	17
<i>Observaciones sobre el estado trófico de un conjunto de lagunas costeras del arco atlántico-mediterráneo español</i>	21
Vida y obra: Zuckerkandl	25
<i>Vida artificial: en la encrucijada</i>	29
Álbum de Ramón Margalef	35



## Aprendiendo Biología en videos:

Los videos son una extraordinaria fuente de entretenimiento, pero también por supuesto, sirven para aprender. Esto no son dos alternativas excluyentes para los que han logrado entretenerse y aprender al mismo tiempo, lo que sin duda es la mejor opción. Pero es verdad que la oferta de videos para aprender y disfrutar es cada vez mayor. Aquí recogemos unos cuantos consejos aplicados al ámbito de la Biología.

Empezamos por el clásico *Youtube*, en el que encontramos canales de mucho interés. *Great Pacific Media* es una empresa estadounidense especializada en la producción de documentales científicos, y que mantiene un canal en *Youtube* (*Biology Videos*, <https://www.youtube.com/user/greatpacificmedia/featured>) con contenidos realmente atractivos.

Por otro lado, ¿os gustaría asistir a clase en el MIT, el Instituto de Tecnología de Massachussets? Ahora es posible a través de otro canal *Youtube*, el *MIT OCW* (*OpenCourseWare*) (<https://www.youtube.com/user/MIT>). Este canal, que cuenta con más de medio millón de suscriptores, alberga miles de videos sobre todos los campos de la ciencia, muchos de ellos consistentes en clases

impartidas en el MIT. A través del buscador del canal es posible localizar videos sobre temas específicos de biología. Es cierto que son videos en inglés, pero pueden proporcionar una ocasión excelente para practicar este idioma, cuyo manejo es imprescindible en la ciencia actual (y exigido para obtener el título de Graduado). El seguimiento de los videos se facilita aún más por tener disponible la transcripción, es decir, se pueden activar subtítulos en inglés, lo que permite leer y escuchar al mismo tiempo.

Otro portal interesante para el que se aficiona a asistir virtualmente a clases de las universidades más prestigiosas del mundo (Yale, Berkeley, Harvard o Princeton entre muchas otras), es *Free Video Lectures* (<http://freevideolectures.com/>). Hay videos disponibles en todas las áreas de la Biología. Aunque aparentemente no hay subtítulos en inglés disponibles, pinchando el enlace a *Youtube* que aparece en los videos, sí se puede acceder a los subtítulos.

## Portales de congresos y eventos científicos:

Cada vez se hace más complicado planificar con antelación la asistencia a congresos y reuniones científicas. El gran

número de eventos que se organizan a lo largo del año obliga a hacer una buena selección con suficiente antelación. Una herramienta que puede ayudar a esto son los portales en los que se anuncian todo tipo de congresos y reuniones. Uno de los más completos es el mantenido por el grupo británico *Nature* (<http://www.nature.com/natureevents/>), en el que los eventos se organizan por país, por área de conocimiento y por fecha. El grupo editor de la estadounidense *Science* también tiene su portal dedicado a este tema (<http://sciencecareers.sciencemag.org/meetings>). El portal generalista *Allconferences* (<http://www.allconferences.com/Science>) mantiene información sobre cientos de congresos sólo en el campo de las ciencias sociales y experimentales. Constatamos que el área que en estos momentos convoca más reuniones científicas es la de Ciencias Sociales (3456), seguida de Ingenierías (3286) y Biotecnología (2374). Más restringido al área de la Medicina y Biomedicina son los portales nacionales de congresos médicos (<http://congresos-medicos.com/> y <http://congresos.net/>).

Ramón Muñoz-Chápuli [chapuli@uma.es](mailto:chapuli@uma.es)



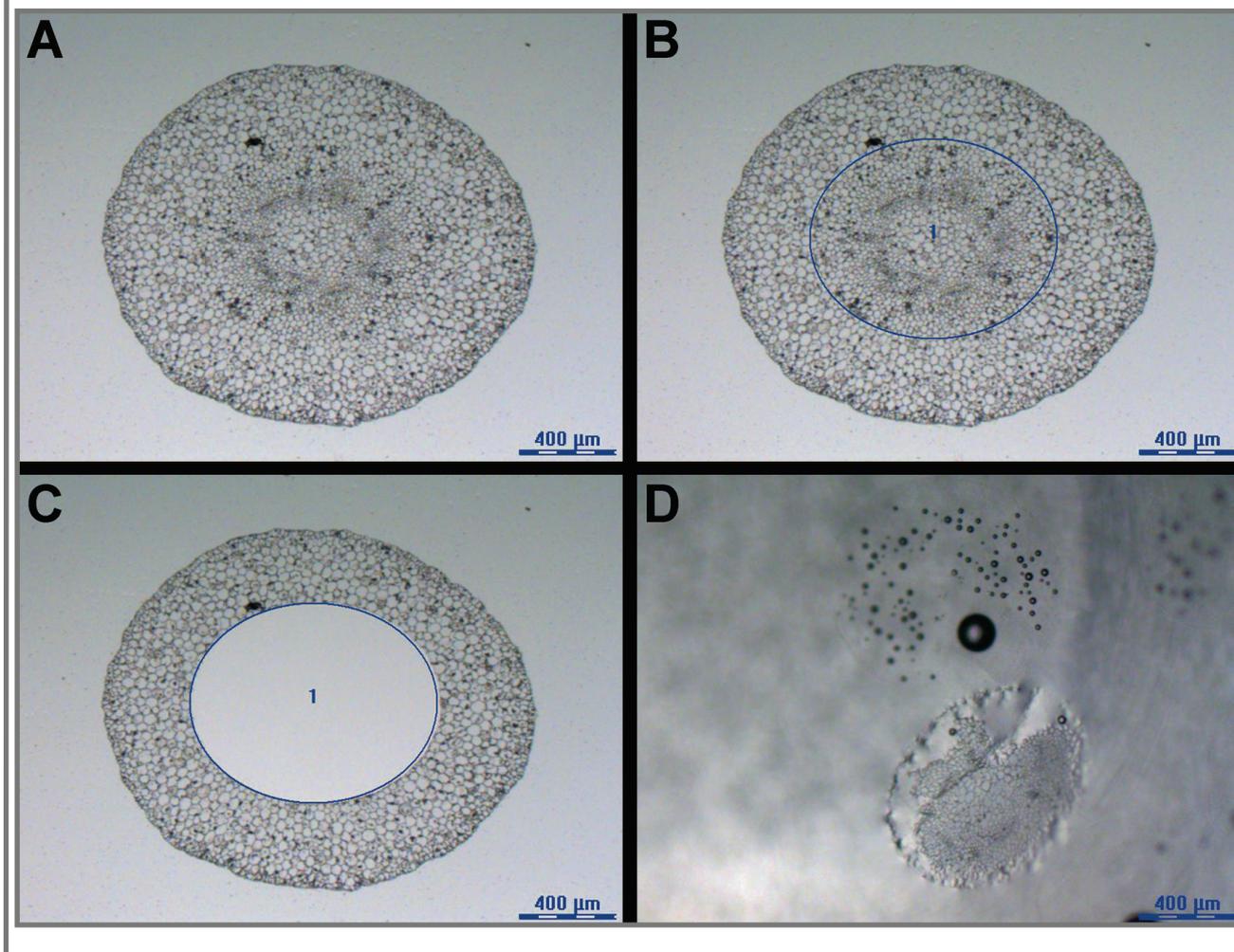
## Instrucciones para los autores

La revista **Encuentros en la Biología** es una publicación que pretende difundir, de forma amena y accesible, las últimas novedades científicas que puedan interesar tanto a estudiantes como a profesores de todas las áreas de la biología. Además de la versión impresa, la revista también se puede consultar en línea en <http://www.encuentros.uma.es/>. **Cualquier persona puede publicar en ella** siempre que cumpla las siguientes normas a la hora de elaborar sus originales:

1. Todos los manuscritos deberán ser inéditos o contarán con la autorización expresa del organismo que posea los derechos de reproducción. Además, deben tener alguna relación con el objetivo de la revista —los que simplemente reflejen opiniones se rechazarán directamente—.
2. El formato del documento puede ser RTF, SXW/ODT (OpenOffice) o DOC (Microsoft Word). Debido a las restricciones de espacio, la extensión de los mismos no debe superar las 1600 palabras; en caso contrario, el editor se reserva el derecho de dividirlo en varias partes que aparecerán en números distintos.
3. Cada contribución constará de un título, autor o autores, y su filiación (situación académica; institución u organismo de afiliación; dirección postal completa; correo electrónico; teléfono). Para diferenciar la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (\*, #, ¶, †, ‡) después del nombre de cada autor.
4. Los nombres de las proteínas se escribirán en mayúsculas y redondilla (ABC o Abc). Los de los genes y las especies aparecerán en cursiva (*ABC*, *Homo sapiens*). También se pondrán en cursiva aquellos términos que se citen en un idioma que no sea el castellano.
5. En esta nueva etapa, contemplamos aceptar que aquellos autores que no tengan el castellano como lengua materna puedan remitir sus manuscritos en inglés. Una vez aceptado, un resumen del mismo en castellano sería elaborado por el propio equipo editorial.
6. Las tablas, figuras, dibujos y demás elementos gráficos, en blanco y negro puros, escalas de grises o color, deberán adjuntarse en ficheros independientes. Las figuras, las fórmulas y las tablas deberán enviarse en formatos TIFF, GIF o JPG, a una resolución de 300 dpi y al menos 8 bits de profundidad.
7. Cuando sean necesarias, las referencias bibliográficas (cuatro a lo sumo) se citarán numeradas por orden de aparición entre paréntesis dentro del propio texto. Al final del mismo, se incluirá la sección de Bibliografía de acuerdo con el estilo del siguiente ejemplo:
8. Einstein Z, Zwestein D, DReistein V, Vierstein F, St. Pierre E. Saptial integration in the temporal cortex. *Res Proc Neurophysiol Fanatic Soc* 1: 45-52, 1974.
9. En caso de citar un libro, tras el título deben indicarse la editorial, la ciudad de edición y el año.
10. Si el texto principal no incluye referencias bibliográficas, se ruega a los autores que aporten 3-4 referencias generales "para saber más" o "para más información".
11. Aquellos que quieran contribuir a la sección **La imagen comentada** deberán remitir una **imagen original** en formato electrónico con una resolución mínima de 300 dpi y, en documento aparte, un breve comentario (de no más de 300 palabras) de la misma. Dicho comentario describirá la imagen, destacará la información relevante que aporta y/o especificará los procedimientos técnicos por los que se consiguió.
12. Los co-editores considerarán cualesquiera otras contribuciones para las diferentes secciones de la revista.
13. Envío de contribuciones: el original se enviará por correo electrónico a los co-editores ([medina@uma.es](mailto:medina@uma.es), [jmperezp@uma.es](mailto:jmperezp@uma.es)) o a cualquier otro miembro del comité editorial que consideren más afín al contenido de su contribución. Aunque lo desaconsejamos, también se pueden enviar por correo ordinario (Miguel Ángel Medina, Departamento de Biología Molecular y Bioquímica, Universidad de Málaga, 29071 Málaga,



## LA IMAGEN COMENTADA



3

### Secuencia de la captura mediante microdissección láser del eje vascular de una sección histológica de un hipocótilo de *Pinus pinaster* L. Aiton.

La captura de tejidos por microdissección láser es una potente técnica que permite el análisis de tejidos o células individuales. De forma alternativa a la hibridación *in situ* de ARN o a las técnicas inmunohistoquímicas hace posible la detección y, sobre todo, la cuantificación de ARN, proteínas, actividades enzimáticas o metabolitos. Combinada con técnicas de nueva generación con un alto rendimiento, como por ejemplo la ultrasecuenciación, posibilita el análisis del transcriptoma, el proteoma o el metaboloma hasta de una única célula o tipo celular. Uno de los usos más extendidos de esta técnica es la realización de atlas de la expresión génica en los tejidos de organismos pluricelulares.

En la imagen se muestra la secuencia del proceso de microdissección láser mediante el equipo Leica LMD7000 de la Universidad de Málaga. En el panel A aparece una sección histológica de 10 µm de grosor obtenida a partir de un hipocótilo de una plántula de *P. pinaster* con dos semanas desde la germinación. En el panel B se ha realizado la selección del área que se desea capturar, en este caso el eje vascular. En el panel C se ha cortado y liberado el fragmento de tejido seleccionado gracias a un láser UV que evita el sobrecalentamiento de las muestras. Finalmente en el panel D se muestra el fragmento de tejido liberado y recogido en el tapón de un tubo de 0,5 mL que contiene un tampón de extracción para ARN. A partir de este paso, las secciones de tejido capturadas se procesan para la obtención de ARN total que será usado para analizar la expresión de genes por RT-qPCR o la determinación del transcriptoma por ultrasecuenciación.

### Rafael A. Cañas y Fernando de la Torre

Investigadores contratados. Departamento de Biología Molecular y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga.

[rcanas@uma.es](mailto:rcanas@uma.es) [fdelatorre@uma.es](mailto:fdelatorre@uma.es)

### Biología sintética: 15 años:

Para muchos, el muy influyente artículo *"From molecular to modular cell biology"* firmado por Leland Hartwell, John Hopfield, Stanislas Leibler y Andrew Murray y publicado en un suplemento especial del número del 2 de diciembre de 1999 de la revista *Nature* marca la fecha inaugural tanto de la biología de sistemas como de la biología sintética. Aceptada esta premisa, a finales de este año 2014 se cumplen los 15 primeros años de la biología sintética. Para celebrar tal efemérides, la revista *Nature* ha publicado recientemente (en concreto, el 7 de mayo de 2014) un especial titulado *Beyond Divisions* que recopila contenidos elaborados *ex profeso* para la ocasión así como otros previamente publicados en *Nature* y otras revistas del grupo editorial. Este número especial contiene:

- ❖ Tres editoriales.
- ❖ Dos *News and News Features*.
- ❖ Tres comentarios.
- ❖ Tres *News & views*.
- ❖ Dos artículos de perspectivas.
- ❖ Cinco artículos de revisión.
- ❖ Cinco artículos de investigación original.
- ❖ Un completo archivo para facilitar el acceso a todos los artículos sobre biología sintética publicados por el grupo editorial *Nature* hasta el 7 de mayo de 2014.

Uno de los artículos de perspectiva presenta una breve historia de la biología sintética.

Entre las revisiones, destaca una publicada el 29 de abril de 2014 en *Nature Methods* acerca de los principios de diseño de circuitos genéticos.

El artículo de investigación original más llamativo (y el que más notas ha generado en la prensa generalista) es la *letter* firmada por Malyshev *et al.* que describe un organismo "semi-sintético" con un alfabeto genético "expandido" que incluye varios pares de bases no naturales.

Enlace: <http://www.nature.com/news/specials/synbio-1.15137>

### Biología de sistemas de plantas:

El pasado mes de abril de 2014 la revista *Trends in Plant Science* publicó un número especial dedicado a la biología de sistemas de plantas. Este número especial comienza con el editorial *"Crossing boundaries"* firmado por Susanne Brink, editora de la revista, y se completa con seis interesantes revisiones cuyos títulos (traducidos) son:

- *Hacia la revelación de las funciones de todos los genes en plantas.*
- *Análisis sistémico de genotipos metabólicos: ¿qué hemos aprendido?*
- *Giberelinas y DELLAs: nodos centrales en redes reguladoras del crecimiento.*
- *Ruedas dentro de ruedas: el sistema circadiano vegetal.*
- *La "orquestración" de los sistemas de defensa en plantas: de los genes a las poblaciones.*
- *¿Por qué medir actividades enzimáticas en la era de la biología de sistemas?*

Enlace: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13601385/19/4>

### *Science* "cambia de cara":

En su editorial del número del 23 de mayo de 2014 de la revista *Science*, su editora jefe Marcia

McNutt anuncia *"a new look"* (un nuevo aspecto) para la centenario revista científica.

Por primera vez, la cubierta incluye tipografía más allá del nombre de la revista y su editor (la *American Association for the Advancement of Science*). La página de índice de contenidos es ahora más fácil de leer, con menor número de subvenciones. Además, el título de cada artículo de investigación va ahora acompañado de un sucinto resumen que describe el tema y el enfoque del artículo.

La sección de *Investigación* empieza ahora con *"In Science Journals"* e *"In Other Journals"*, con breves descripciones de artículos publicados en revistas del grupo *Science* y de otros grupos editoriales, respectivamente.

La nueva sección *"Working Life"* incluirá ensayos personales, comentarios y escritos que ilustren facetas prácticas del trabajo cotidiano de un científico.

A lo largo de todos los nuevos ejemplares de *Science* se hace evidente que sustanciales mejoras de diseño han contribuido a generar un diseño global más consistente en el que se acomodan mejor las imágenes y los gráficos, completo visual que mejora notablemente las sensaciones a leer *Science* en cualquier formato impreso o digital) y en cualquier plataforma.

La revista invita a sus lectores a conocer la "nueva cara" de *Science* mediante la descarga digital gratuita de una copia del número publicado el 23 de mayo de 2014.

Enlace para la descarga digital gratuita:

[http://www.sciencemag.org/site/inst\\_popup.html](http://www.sciencemag.org/site/inst_popup.html)



## Editorial especial: Recordando a Ramón Margalef

Miguel Ángel Medina

Catedrático del departamento de Biología Molecular y Bioquímica,

El pasado 23 de Mayo se cumplieron 10 años de la fecha de fallecimiento de Ramón Margalef, *padre* de la ecología española y uno de los científicos más destacados e influyentes de la historia de la ciencia española. *Encuentros en la Biología* no podía dejar pasar la ocasión de la efemérides para rendir un modesto pero sentido homenaje a este gran científico y maestro.

Posiblemente sólo las contribuciones y legados científicos de Santiago Ramón y Cajal y Severo Ochoa sean comparables a los de Margalef. Formuló diversos principios unificadores en ecología, contrvertidos cuando fueron formulados pero ampliamente aceptados en la actualidad, entre los que destacan:

- \* Aplicación de la termodinámica al estudio de los ecosistemas.
- \* Uso de la teoría de la información la diversidad taxonómica en un ecosistema como medida de su grado de organización.
- \* Definición de la diversidad y de la conectividad de las especies como medidas de la organización y la complejidad de los ecosistemas.
- \* Uso de los cambios en el índice P/B (producción/biomasa) en el seguimiento de la sucesión ecológica y consideración de ésta como marco evolutivo del desarrollo de los ecosistemas.

Autor prolífico, con más de 400 artículos científicos, junto con los principios unificadores arriba señalados realizó otras notables aportaciones en relación con la cuantificación de la diversidad del fitoplancton, la respuesta de los ecosistemas a estrés nutricional, el papel de la energía auxiliar en la selección de las especies presentes a lo largo de la propia evolución de los ecosistemas y la producción de materia orgánica a escala global, entre otros. También escribió numerosos artículos de divulgación y varios libros, incluyendo dos manuales en los estudios universitarios dentro del área de la ecología: *Ecología* (1974) y *Limnología* (1983).

Por su carga conceptual, posiblemente su artículo más destacado sea "*On certain unifying principles in ecology*" (*American Naturalist* 97: 357-374, 1963). En el artículo-informe "*Twentieth-century classic books and benchmark publications in Biology*" escrito por Gary Barrett y Karen Mabry (*BioScience* 52:282-285, 2002), el artículo de Margalef aparece en octava posición (compartida con otros tres artículos) entre los artículos citados por biólogos como los que mayor impacto tuvieron durante su entrenamiento profesional. En la actualidad, la revista *American Naturalist* la edita *Chicago University Press*. Como co-Editor de *Encuentros en la Biología* me puse en contacto con la editorial a través del *Copyright Clearance Center* solicitando permiso para reproducir el artículo en formato facsímil. En una decisión que me resulta incomprensible, tal permiso nos fue denegado, motivo por el cual en las páginas de este número de primavera de 2014 de la revista *Encuentros en la Biología* falta la prevista reproducción de ese artículo clave en la obra de Margalef y en la historia de la Ecología, que habría sido la mejor forma de homenajear al autor. El artículo, tras una breve introducción se estructura alrededor de las siguientes secciones: i) Estructura de los ecosistemas. ii) El ecosistema en relación a la energía y la masa. iii) Sucesión y fluctuaciones. iv) Sistemas extensivos con diferencias locales en del valor de su madurez. iv) Contracción y expansión de los ecosistemas. v) La partición de poblaciones uniespecíficos que se mueven libremente a través de los ecosistemas con diferencias locales de madurez. vi) Temperatura y madurez. vii) Madurez y evolución. viii) Utilidad de un enfoque sintético. ix) Resumen. Traducimos aquí dicho resumen:

*"Aquí se presenta un intento de proporcionar algunos principios unificadores en ecología. La estructura de los ecosistemas se considera en relación a varios componentes, con especial énfasis en las características de madurez medidas por datos de diversidad y otras propiedades medibles, incluyendo la producción primaria (P) y la biomasa (B). Los ecosistemas con estructura compleja y alto contenido de información se pueden mantener con un gasto de energía relativamente menor. Las oscilaciones, introducidas por ejemplo por cambios ambientales, tienden a mantener un ecosistema en un estado de menor madurez. Cuando se da la sucesión, implicando intercambio de un exceso de energía disponible para un futuro aumento de biomasa, las relaciones encontradas pueden aplicarse no sólo a sucesivos estados en el mismo sistema sino también a subsistemas acoplados. Se demuestra que la pendiente del gradiente entre subsistema depende de varios factores sujetos a determinación cuantitativa y la relación entre estos subsistemas se puede imitar con experimentos sencillos. Cuando los ecosistemas se contraen o expanden, se*

*Los movimientos de las especies son factures de especial interés que afectan la madurez de los ecosistemas. Estos sugieren una correspondencia espacial entre la porción juvenil o inmadura de una población inespecífica y las partes menos maduras de los ecosistemas disponibles para ser habitadas.*

*La madurez se relaciona con la evolución de una forma que permite la generalización en relación al tipo de organismos que han de encontrarse en ecosistemas de mayor o menor madurez y estabilidad. Conforme progresa la evolución hay una tendencia hacia un ajuste en la madurez.*

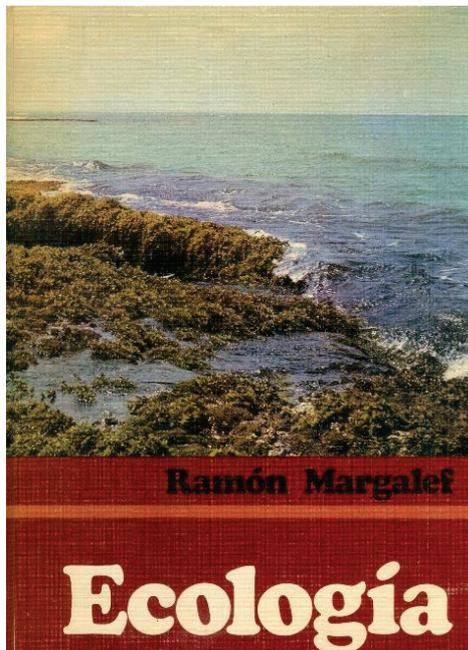
*Los conceptos que emergen se pueden aplicar a los sistemas sociales humanos. Dos principios se hacen evidentes. Primero, la energía requerida para mantener un ecosistema está inversamente relacionada con la complejidad, con la tendencia natural hacia flujos de energía decrecientes por unidad de biomasa, esto es, un aumento de madurez. En segundo lugar, en sistemas adyacentes hay un flujo de energía hacia el sisea más maduro y un movimiento opuesto en la frontera o superficie de igual madurez.”*

Aquellos interesados en el texto original completo, pueden acceder al mismo en el siguiente enlace:

<http://www.jstor.org/stable/2459227>.

6 En la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga tenemos la fortuna de contar con el magisterio del Catedrático de Ecología Francisco Xavier Niell Castanera, quien a su vez aprendió del magisterio de Margalef, primero como alumno y más adelante como doctorando. Su Tesis Doctoral, titulada “*Estudios sobre la estructura, dinámica y producción del fitobentos intermareal (facies rocosa) de la Ría de Vigo*” fue la quinta dirigida por Margalef y se presentó en 1976. El Profesor Niell accedió amablemente a mi petición/invitación a que escribiera una semblanza personal de Margalef. Agradezco mucho al Profesor Niell el regalo que hace a *Encuentros en la Biología* con el texto “*Recuerdo de Ramón Margalef López*”, escrito con su personalísimo estilo y que contribuye a dignificar el modesto pero sentido homenaje que *Encuentros en la Biología* rinde a Ramón Margalef con ocasión del décimo aniversario de su fallecimiento. Completa este homenaje una pequeña galería fotográfica y datos biográficos extraídos del artículo “*Ramón Margalef, the curiosity driven life of a self-taught naturalist*” escrito por Francesc Peters (*Limnology and Oceanography Bulletin* 19: 2-15, 2010).

Los interesados en la bibliografía de Margalef pueden acceder a los textos contenidos en el siguiente enlace: <http://www.icm.csic.es/bio/margalef>.



Este libro y las inolvidables clases del Profesor X. Niell fueron fundamentales en mi aprendizaje de la ecología durante mis estudios en la Licenciatura en Ciencias Biológicas (1980-85)





# Recuerdo de Ramón Margalef

F. Xavier Niell

Catedrático de Ecología de la Universidad de Málaga

[fxn@uma.es](mailto:fxn@uma.es)

Me sugiere uno de los editores de la revista que me acuerde de quién tanto aprendí. El editor que me lo pide fue uno de mis alumnos más destacados, hoy es ya profesor y es de los profesores universitarios que piensa.

Ramón Margalef era un pensador, con esta afirmación cumpla dos hitos: acierto de modo exacto al calificarlo, era un pensador; y doy satisfacción a su memoria y le rindo así homenaje, puesto que el valor del pensamiento era lo que más estimaba.

Este ensayo no reconstruirá la vida del Profesor Margalef; está ya publicada. Mi discurso dará vueltas alrededor de sus cualidades como pensador y lo que de dichas cualidades se destiló científica y educativamente.

7

## El placer de jugar con el conocimiento

Margalef usaba para acudir a la Facultad el transporte público de Barcelona, decía que así le daba un tiempo para pensar antes de llegar... Su sentido de uso y aprovechamiento del tiempo requería de momentos de soledad y de aparente ausencia que muchos recordamos como imagen suya al verle ensimismado cuando pasábamos delante de sus despachos.

Mostraba su preferencia por los métodos constructivos de exploración de los datos, por ejemplo ir incorporándolos uno a uno, no a una tabla Excel para pasarlos a un programa gráfico (¿Kaleidagraph u otros?), sino a gráficas que iba construyendo punto a punto sobre papel milimetrado. Cada valor nuevo que incorporaba a la gráfica, traía una hipótesis que hacía para sí sobre la posición esperada del nuevo dato en relación a los demás. Mientras éste era un método constructivo e interactivo, los computadores le daban una solución irritablemente súbita y plana, la exploración no se pensaba, tenía que deducirse del examen "a posteriori", que era mucho menos dinámico que el ver nacer, poco a poco, el comportamiento del sistema... Margalef sintetizaba sus sentimientos de modo sorprendentemente escueto y en referencia a lo que he comentado decía que los ordenadores "no le ayudaban a pensar".

Su crítica a los ordenadores era una hipérbole algo frívola, puesto que -a pesar de su ironía sobre las máquinas- era un entendido en modelado. Me refiero a que comprendía los modelos y sabía la forma que tenían que tener en cada caso, se entusiasmaba "jugando" con ellos, parametrizándolos y simulándolos con su maquinita de calcular, que manejaba durante sus viajes para matar el tiempo. De esta manera exploró el comportamiento caótico de sistemas que probablemente no lo son como las interacciones depredador-presa.

El aspecto lúdico dominaba en gran manera la prospección de la naturaleza que hacía Margalef. Se entusiasmaba y se sorprendía a medida que iba prospectando los resultados que iba incorporando a sus conclusiones y se ilusionaba cuando confirmaba una regla o una ley. Durante muchas excursiones con él, recuerdo que no dejaba de mojar un pedacito muy pequeño (Margalef hizo la guerra civil) de papel indicador de pH en todo cuanto charquito avistaba. Al sacarlo del agua mostraba el color morado, orgulloso del mismo, en los charcos donde había fotosíntesis, cuando lo inesperado era que saliese de otro color. En una ocasión cuando yo ya me había hecho mayor, y no antes, le pregunté: "¿Y qué esperaba, en un charco lleno de algas, a plena luz del Mediterráneo? ¿Que saliera rojo?" Me contestó que insistiendo en el paradigma se encontraban las anomalías, lo mismo había dicho algunos siglos antes Giordano Bruno, aunque a éste lo quemaron...

Margalef manejaba el conocimiento en sentido estricto, sabía lo que se tenía que saber, y su conocimiento era amplio y práctico, manejaba modelos diferenciales o arreglaba la resistencia de un espectrofotómetro, tenía desde talento a habilidad manual. Andar con el por la naturaleza para un joven licenciado era decorazonador; lo conocía y lo explicaba todo, y cuando digo todo, para qué vamos a entrar en detalles... me refiero a todo.

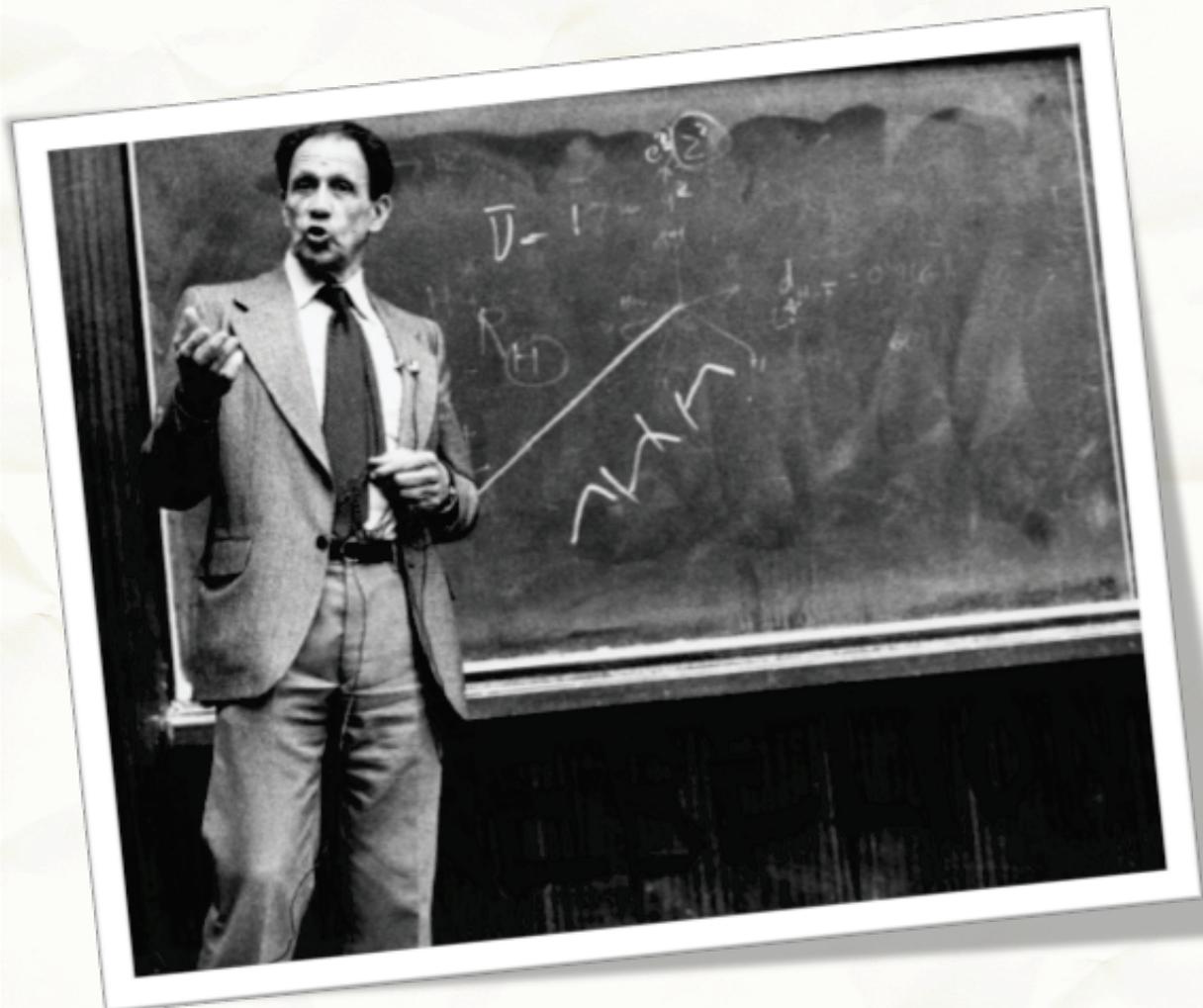


Disfrutaba con la ortodoxia, pero era heterodoxo, compatibilizaba ambas cosas demostrando que la mixtura no solo es posible, sino que también es sana, pensaba continuamente en modos diferentes de explicar un mismo proceso, con lo cual abría la posibilidad de la formulación de hipótesis alternativas y su comprobación. Reunía solventemente, a su manera, a Feyerabend y a Popper y a la sólida educación Krausista de la Institución Libre de Enseñanza, porque normalmente era capaz de imaginar la solución que se daría para cada hipótesis... Y si no se daba, ello constituía, precisamente, la base para falsarla.

## El profesor Margalef

El profesor Ramón Margalef daba clases. Sus clases, decíamos sus alumnos, eran de “Arte y Ensayo” como el cine de la época, el de Bergmann, Kurosawa, Antonioni, Fassbinder, Godard Losey, y otros, pero no era Felliniano... Los alumnos decíamos que las clases “estaban muy bien de técnica pero no se entendía el argumento”... Esta crítica, que he oído más veces cuando yo he explicado ecología posteriormente, me parece impropia de personas que quisieran aprender a pensar. En las clases había una doctrina de fondo, no demasiado amplia, continuamente se evidenciaba su validez, en cada circunstancia, para cada sistema, y hasta en casos aparentemente diferentes. El inconveniente es que las excursiones por el amplio espacio de conocimientos no se avisaban y el trabajo de ensamblar cada caso y ordenarlo donde le correspondía, en el seno de la Teoría, era el del estudiante.

8





Creía tanto en la calidad intelectual de las personas que abandonaba los exámenes y dejaba solos a los estudiantes; algunos copiaban, pero no le importaba, él buscaba la diferencia de los que aportaban su idea o su visión personal sobre el tema designado, más que la reproducción memorística de los contenidos. Quería "cromatografiar" en "bandas" a los distintos estudiantes, estaba interesado por la creatividad. Algunas veces encontraba desviaciones a lo frecuente, lo cual, me consta, le alegraba.

Consideraba que enseñar a nivel universitario era transmitir problemas y modos de pensamiento y argumentación. Sus asignaturas, enmarcadas de pleno en la Biología general, como no eran obligatorias, no eran escogidas por muchos alumnos. En las clases teóricas existía un constante, y para algunos desconcertante, cruce del conocimiento de un lado al otro de la materia, íbamos de extremo a extremo. Sus prácticas, generosas en el uso de todo lo que había a disposición, se afrontaban con una seriedad rotunda como si constituyeran un tema de trabajo real. Hacía percibir el detalle del experimento como sentimiento de la máxima importancia en la adquisición de datos.

No daba demasiada importancia a los contenidos, podía prescindir de temas puesto que las materias eran algo más que la suma de cada uno de los temas, que siempre eran discutidos con una exhibición de crítica personal.

9

## Organizar y Programar frente a Generar Capacidad de Actuación Independiente

Reflexionaba también sobre la inutilidad de detallar los planes de estudio, un tema muy actual y recurrente en los últimos gobiernos del estado. Se decantaba por planes de estudio que enseñaran las leyes fundamentales del universo, y de la biología enfatizando sus coincidencias, sobre todo termodinámicas, que se preocuparan más de orientar las capacidades de los estudiantes que los conocimientos sumados uno tras otro. En este aspecto estoy de acuerdo con él, sobre todo cuando decía que después de que los políticos hubieran cambiado tantas veces los planes de estudio, el resultado era el mismo: salían pocas personas muy por encima de la media, algunas destacadas, y una gran masa por debajo de la media. Es decir, que la respuesta del colectivo humano, afortunadamente, se mantenía incluso en las peores circunstancias y que la educación no mejoraba más que levemente cuando la educación tenía todos los ingredientes para considerarse favorecida. El enorme esfuerzo de los pedagogos por el control de la enseñanza no está dando, ¡ni los dará!, resultados dignos de merecer un comentario. Un VERIFICA, y sus "mariachis", hubieran perturbado el talante y el humor del Profesor Margalef. La calidad no es eso, ni se mide por las encuestas, se mide por la capacidad de los estudiantes para superar las materias serias.

Margalef era muy estimado entre algunos y rechazado por otros, no sé exactamente en qué proporción. Con seguridad a él no le importaba demasiado, su ética trascendía a sus nulas ansias de popularidad. Predicaba con el ejemplo: más que preocuparse por el método de enseñanza, se preocupaba por transmitir una pauta de comportamiento racionalizador. Yo mismo le recuerdo más por la manera de trabajar en la reflexión de la Naturaleza que por sus enseñanzas concretas. Lo que se aprendía de él era consistente, usable y personalizable, uno lo podía convertir en una pauta propia, permitía crear el modelo mental que diera a entender cada problema, o sea se incitaba a la imaginación espacial, a la construcción de... ¡sólidos castillos en el aire! De lo que no cabe duda es que la impronta que dejaba se separaba de lo común.

Si el lector está interesado en la parte morbosa de la trayectoria vital del Profesor Margalef que lea otras reseñas: yo recuerdo y estimo el riesgo que corrió cuando le llevaron a combatir en la división XI con el General Lister en la batalla del Ebro, durante esa guerra que provocaron los que la provocaron; estudió tarde, terminó la carrera que cursó en el segundo quinquenio de los veinte a los treinta, en tres años, lleno de Matrículas de Honor, fue el primer catedrático de Ecología del Estado y muchos etc...

A mi, filosóficamente, Margalef me parece un ácrata que destiló el máximo valor de la acracia: la libertad de pensamiento y la independencia personal. Intercalo una evocación suya escrita en una obra muy reconocida: *Our biosphere* (Margalef 1997) que extraigo de la excelente revisión de Francesc Peters (Peters 2010) :

*“For most topics that concern ecology, I like poets more than lawyers and feel more inclined to fantasy, feeling and inspiration than to rigor, consistency and even responsibility. In my view on environmental problems, I feel more attracted by the origin of the troubles than by their solutions, at least in the way the problem is usually faced at present.”*

Destaco la última frase: en ella habla del modo de enfocar las cosas en el presente, los tópicos le molestaban, era seriamente hostil a las modas de la investigación. No hubiera permitido que un trabajo sobre la influencia de la Temperatura y el UV se titulara más que influencia de dichas variables en lo que fuera, sin necesidad evocar al cambio climático. Vivió la primera época de las aplicaciones y de la utilidad de la investigación. En realidad consideraba que el conocimiento en general constituye un patrimonio, el más valioso que existe para el hombre, por sí mismo, sin que tenga que servir para nada. Llegó a decir “No hay ciencia básica ni aplicada: hay buena y mala ciencia”. Las consignas de la época eran tan pesadas como las de los políticos actuales.

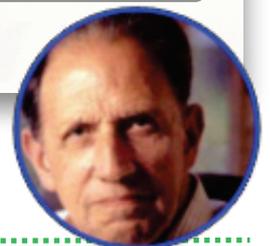
Para animar a los desanimados quiero recordar una última anécdota: A Ramón Margalef le rechazaron un proyecto de investigación en las primeras convocatorias en que funcionó un sistema de financiación de proyectos parecido al actualmente vigente. Después de la lógica sorpresa y algo desasosegado por no ser profeta en su tierra, indagó en las dos instituciones que pudieron evaluar y descalificar su proyecto, puesto que eran las únicas que había en el Estado en aquel tiempo, para entender qué razones hubo para el rechazo... Los científicos de las dos se acusaban mutuamente. Cuando, más tarde, lo contaba, recurría a la ironía y murmuraba con una sonrisa pícaro: "por primera vez es posible que todos dijeran la verdad"...

Científicamente me queda el recuerdo de su trabajo estrella, que para mi modo de ver es la aplicación de la Teoría de la Información a la Biología. Es antológico por su rigor e imaginación a la vez. Este trabajo enlaza con su constante preocupación para analizar el significado de la variabilidad natural de los organismos y los ecosistemas dando por sentado el carácter probabilístico de cualquier afirmación que se hiciera sobre el comportamiento de la Naturaleza. Este plano aún no se ha alcanzado en la enseñanza universitaria actual donde sólo se enseña determinismo sin introducir a los alumnos en la consideración de la incertidumbre de cualquier afirmación, de cualquier ley, de cualquier principio. Le cupo la originalidad y también la valentía de incluir al hombre como “pieza normal” del funcionamiento de los ecosistemas. Era un paso hacia una globalización del uso de la energía. Se apoyaba sobre una ingente y cotidiana capacidad para observar muestras de aguas continentales y marinas. Margalef pensaba estas muestras, que le inspiraban principios generales de funcionamiento y organización fueran de lo que fueran. No despreciaba lo pequeño, comprendía que un charco era un ecosistema y que en un ecosistema amplio podía reunir a diversos charcos. Su contribución al conocimiento de los organismos acuáticos en general es una base patrimonial (diría yo) de conocimiento para la Limnología de España.

Como maestro destacaré siempre, por encima de lo que nos enseñó, lo que de él aprendimos y todavía podemos aprender.

#### Referencias:

- Margalef, R. 1997. *Our Biosphere*. Excellence in Ecology 10. Ecology Institute. Oldendorf/Luhe.
- Peters, F. 2010. Ramón Margalef, the curiosity driven life of a self-taught Naturalist. *Limnologia and Oceanography Bulletin* 19 (1): 2-15.



# Editorial invitado: Reflexiones por una enseñanza activa y creativa en Biología

Enrique Moreno-Ostos

Profesor Contratado-Doctor del Departamento de Ecología y Geología, Universidad de Málaga  
[enrique@uma.es](mailto:enrique@uma.es)

La búsqueda y reivindicación de sistemas de enseñanza-aprendizaje creativos, activos, libres y participativos, que ponen al estudiante en el centro del proceso, no es algo nuevo y ha sido planteado a lo largo de la historia por pensadores tan destacados como Platón, Sócrates, Confucio, Erasmo, Rousseau o Einstein, entre muchos otros. No obstante, salvo en escasas ocasiones, el modelo docente no se ha caracterizado tradicionalmente por su carácter libre y participativo y ha recurrido con demasiada frecuencia a tendencias dogmáticas, impositivas, coercitivas y memorísticas que en nada han contribuido a estimular la creatividad de los alumnos. En palabras de Einstein “es casi un milagro que los métodos de enseñanza tradicionales no hayan estrangulado ya la sagrada curiosidad de la investigación, pues -a parte de estímulo- esta delicada planta necesita libertad”.

Hoy día la adopción del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) nos ofrece una nueva oportunidad de evolucionar hacia entornos docentes más estimulantes y creativos. De hecho, uno de los aspectos claves en la filosofía del EEES es su decidida apuesta por la transformación de la metodología de enseñanza-aprendizaje. Así, la plena adopción del EEES supone pasar de un modelo docente clásico basado en la enseñanza a un nuevo modelo basado en el aprendizaje activo. El modelo clásico se caracteriza por el carácter transmisivo del profesor, ante el que el alumno adopta el pasivo papel de receptor del conocimiento. Por el contrario, el nuevo marco de enseñanza-aprendizaje que impulsa el EEES debe ser interactivo y participativo, con un marcado carácter bilateral, donde el profesor actúe como un creador de entornos docentes que propone y aplica una amplia variedad de metodologías activas para conseguir un aprendizaje realmente significativo en sus alumnos. El nuevo modelo de enseñanza-aprendizaje no sólo debe proveer a nuestros alumnos de conocimientos excelentes, sino que debe ser capaz de conducirlos hacia experiencias directas que les permitan adquirir competencias para desenvolverse libre y creativamente bajo distintas situaciones en su futuro desempeño profesional.

Sin duda, este nuevo modo de afrontar el aprendizaje exige del alumno colaboración y actitud participativa, autonomía en el trabajo y un elevado grado de responsabilidad personal. No obstante, la autonomía y la responsabilidad personal del alumnado no resulta una característica inherente al estudiante, sino que debe ser estimulada por el profesor y supone una importante competencia transversal objetivo de la labor docente. En mi opinión, desde que el profesor presenta la asignatura a comienzos de curso debe ser capaz de transmitir entusiasmo y compromiso a sus alumnos, y precisamente en ese momento comienza el proceso de vinculación personal del estudiante con la materia objeto de estudio. La metodología docente activa, creativa y participativa debe hacer sentir al alumnado la relevancia de aquello que está estudiando. Si el estudiante es conocedor de la importancia de las competencias que está trabajando, su nivel de motivación y -consecuentemente- su implicación en la asignatura y su responsabilidad personal se verán reforzados.

Basta entablar una conversación informal fuera de aula con nuestros alumnos (una actividad realmente satisfactoria y productiva para todo docente) para obtener algunas conclusiones inmediatas: una de ellas es que conservan realmente poco de los conocimientos adquiridos en cursos muy recientes, incluso en el anterior cuatrimestre del mismo curso. Otra es que su nivel de motivación en una materia es directamente proporcional al carácter aplicado y participativo de la misma. La primera conclusión demuestra el fallo del sistema clásico y dogmático de transmisión de conocimientos. La segunda marca el camino a seguir para evitar este fracaso.

Para que los estudiantes actúen con iniciativa personal deben encontrar un sentido a lo que hacen. Para ello, los profesores nos debemos esforzar en seleccionar metodologías docentes que favorezcan un aprendizaje significativo. Resulta sorprendente cómo la actitud de los alumnos cambia frente a este tipo de estímulos y la velocidad a la que son capaces de motivarse y de asumir responsabilidades en este nuevo contexto. Según mi experiencia, los alumnos tienden a asumir y representar el papel que sobre ellos proyectan sus profesores. Cuando proyectamos sobre ellos la visión de un estudiante activo, creativo, crítico y responsable de su formación bajo tutela de su profesor, motivado en saber y aprender, y hacemos nuestras asignaturas activas y atractivas, conseguimos en buena medida el tipo de alumno que exige el EEES.

En todo caso, esta transformación del sistema requiere de un notable esfuerzo por parte de sus componentes, que debería ser respaldado por una inversión equivalente en mejoras estructurales y en la optimización de la razón estudiantes/profesor. En mi opinión como docente, uno de los factores más eficaces en restar credibilidad a la reforma de la enseñanza universitaria es la deficiente financiación del cambio. Este nuevo sistema de trabajo implica también una atención más personalizada a nuestros alumnos, y el adecuado desarrollo de competencias y habilidades sólo resultará posible si logramos trabajar con grupos de alumnos más reducidos y utilizando mejores medios técnicos. Para que este cambio sea un éxito resulta necesario que la Administración se decida a invertir más dinero en la Universidad, algo que lamentablemente es opuesto a las actuales tendencias presupuestarias. Sin la necesaria financiación la transformación del sistema puede estar sencillamente condenada al fracaso.

En este contexto de cambio de paradigma en el proceso de enseñanza-aprendizaje, desde hace unos años vengo tratando de involucrar a mis alumnos de Limnología (asignatura optativa de segundo ciclo de la Licenciatura en Biología, Universidad de Málaga) en la resolución activa de desafíos científicos reales, consciente de que el método educativo más adecuado es el que hace al alumno trabajar en el marco de la realidad. Para ello, al comienzo de cada curso planteo a mis estudiantes una lista abierta de problemas actuales de interés en investigación limnológica. Tras una breve discusión sobre cada uno de ellos, los alumnos se vinculan libremente a algún tema concreto en función de sus intereses personales y científicos. A partir de ahí, los estudiantes convierten el caso de estudio en suyo durante el transcurso de la asignatura, y se comprometen a aplicar el método científico en su resolución, que cristaliza en la producción de un informe en formato de artículo científico. A lo largo de todo este proceso, el alumno debe observar, analizar y entender el problema en cuestión, estudiar fuentes bibliográficas relevantes, plantear hipótesis, diseñar activamente las metodologías y herramientas de trabajo a aplicar, experimentar, obtener resultados de campo, interpretarlos y discutirlos adecuadamente. El profesor actúa como un guía y un orientador a lo largo del proceso, y proporciona a los alumnos conocimientos, materiales y medios necesarios para continuar su trabajo. Conforme se introducen progresivamente en el objeto de estudio, los estudiantes se motivan y se vinculan personalmente a la materia de estudio. Es interesante observar como su inquietud y su curiosidad crecen a medida que el proyecto avanza, y cómo proponen nuevas soluciones creativas, muchas de ellas basadas en la cooperación entre alumnos implicados en diferentes proyectos de investigación. Al final del curso, la mayoría de los estudiantes se han vinculado personalmente con su proyecto y lo consideran un logro propio. A mi parecer, no importa demasiado si los resultados obtenidos son excelentes o no. Como en una travesía de montaña, el recorrido suele ser mucho más interesante e instructivo que la propia cima.

Sólo del amor por el objeto de estudio y del deseo por alcanzar el entendimiento puede nacer un logro científico. Es relativamente frecuente que algunos estudiantes inquietos deseen seguir su trabajo de investigación incluso al finalizar la asignatura. Así, algunos de ellos me propusieron la idea de tratar de alcanzar la primera publicación científica de su carrera enviando los resúmenes de sus trabajos a *Encuentros en la Biología*, una revista atractiva y cercana, a la que muchos de nuestros alumnos consideran parte de su vida en la Facultad de Ciencias. Como docente, sólo podía seguir estimulando su inquietud y apoyar al máximo su interés. Fruto de su trabajo son los tres artículos que se presentan en este número de *Encuentros en la Biología* y uno más que aparecerá en un número posterior de la revista, una pequeña muestra de una gran cantidad de estudios realizados hasta hoy. En ellos se analizan algunos aspectos de interés actual en Limnología, tales como la evaluación del estado trófico de las lagunas costeras españolas, el diagnóstico de la calidad ecológica de los cauces fluviales a partir del uso de índices biológicos o la dinámica espacial y temporal de la avifauna lagunar en humedales de reconocido interés limnológico y ornitológico de Málaga. Para los estudiantes autores de los trabajos es la culminación de un proyecto al que se vincularon personal y científicamente. Para los lectores, la oportunidad de conocer un poco más sobre el estado de nuestros ecosistemas acuáticos epicontinentales. Para mí, como profesor, un estímulo que me anima a continuar apostando por un modelo de enseñanza experimental, activo, participativo, comprometido y libre.

Confucio plasmó claramente esta filosofía de enseñanza-aprendizaje activa en su famoso enunciado, que puede servir de resumen para estas reflexiones:

*“Dime algo, y lo olvidaré*

*Enséñame algo, y lo recordaré*

*Pero hazme partícipe de algo, y entonces lo aprenderé para siempre”*

# Una nota sobre el estado ecológico del río Chíllar (Málaga) a partir del estudio de su comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Martín Bello Candamio y Daniel Couceiro Criado

Alumnos de Limnología (curso 2012-13), Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga

La implementación de la Directiva Europea Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) ha supuesto que el agua deje de considerarse un recurso y se contemple como un elemento fundamental de todos los ecosistemas acuáticos. Esta normativa establece como objetivo para el año 2015 alcanzar un “buen estado ecológico” en todas las masas de agua europeas. La Directiva proporciona además instrucciones para diagnosticar el estado ecológico de las masas de agua y recomienda para el caso de las aguas epicontinentales el empleo combinado de indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos.

En este contexto normativo, abordamos un estudio en el río Chíllar (Nerja, Málaga) con el objetivo de evaluar el estado ecológico de sus aguas mediante el análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos acuáticos. Estos organismos constituyen uno de los grupos biológicos más ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad del agua debido, entre otros factores, a su elevada diversidad, con presencia de muy diversos taxones de requerimientos ecológicos diferentes relacionados con las características hidromorfológicas, físico-químicas y biológicas del medio acuático. Además, su muestreo es relativamente sencillo, al igual que su identificación taxonómica a nivel de familia. Por ende, los ciclos de vida de estos organismos acuáticos (comprendidos entre un mes y más de un año) permiten que su presencia o ausencia en la masas de agua pueda considerarse indicadora de alteraciones a medio y largo plazo, que se complementan con otros elementos bioindicadores de respuesta más corta como el fitobentos, o más larga como los peces.

En este estudio se ha seguido el protocolo de muestreo de invertebrados bentónicos y de diagnóstico de la calidad ecológica de los cauces ibéricos basado en el índice IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party) establecido por Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega (1988) [1]. Este método se emplea con frecuencia y ha sido ob-

jeto de varias revisiones y readaptaciones (Muñoz & Prat, 1992 [2]; Alba-Tercedor, 1996 [3]; Prat et al., 2000 [4]; Alba-Tercedor et al., 2002 [5]). Es un método robusto y validado que posee carácter conclusivo respecto a su aplicación y rangos de tolerancia entre los cuales han sido clasificadas las diversas familias de macroinvertebrados bentónicos. Además, al ser un índice cualitativo tiene un fuerte respaldo en términos de experiencia, calibración y validación (Figueroa, 2004) [6].

Tras un exhaustivo muestreo cualitativo en el que se deben capturar individuos todas las familias de macroinvertebrados bentónicos existentes en los distintos tramos fluviales a analizar, el índice IBMWP ofrece un valor de calidad ecológica que se obtiene sumando las puntuaciones asignadas a cada familia identificada en las diferentes muestras (Tabla 1). Las puntuaciones del IBMWP pueden oscilar desde 0 puntos a más de 100 puntos, agrupándose en cinco clases de calidad inicialmente asimiladas a los niveles del estado ecológico (Jáimez-Cuéllar et al., 2002) [7].

En el presente estudio los muestreos han sido realizados durante los meses de Abril, Mayo y Junio de 2013, y se han seleccionado 3 estaciones de muestreo, cada una en un tramo diferente del río Chíllar (curso alto, medio y bajo. Fig. 1). En cada estación de muestreo se han seleccionado 3 hábitats distintos para la recogida de muestras: rápidos de sustrato duro, pozas de sustrato arenoso y zonas de macrófitos.

Una vez analizadas las muestras biológicas recogidas y calculadas las puntuaciones de cada tramo de río a lo largo de los tres muestreos (Tabla 1), los resultados obtenidos fueron comparados con las tablas de referencia del índice IBMWP (Alba-Tercedor et al., 2002, Jáimez-Cuéllar et al., 2002) [8] (Tabla 2) para evaluar su calidad ecológica.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las estaciones 2 y 3 presentan una calidad de agua “aceptable” con un “buen estado

Tabla 1

Familias	Puntuación índice IBMWP	Abril			Mayo			Junio		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Lymnaeidae	3									
Planorbidae	3							*		
Valvatidae	3								*	
Physidae	3							*		
Lumbricidae	1		*						*	
Calopterygidae	8		*			*			*	
Gomphidae	8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Aeschnidae	8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Libellulidae	8		*		*		*	*		
Cordulegasteridae	8			*	*	*			*	*
Cordulidae	8	*	*							
Heptageniidae	10		*	*		*	*	*	*	*
Baetidae	4	*	*	*	*		*	*		*
Ephemeroptera	7		*							
Perlodidae	10	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Leuctridae	10			*						
Gerridae	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mesoveliidae	3			*						*
Notonectidae	3								*	
Polycentropodidae	7					*	*			
Psychomyidae	8					*			*	*
Hydropsychidae	5		*	*		*	*		*	*
Ecnomidae	7								*	
Chironomidae	2	*	*		*		*	*	*	*
Simuliidae	5		*		*	*				
Tabanidae	4	*								
Stratiomyidae	4									*
Tipulidae	5			*			*	*		*
Gyrinidae	3			*					*	*
Dytiscidae	3	*	*	*	*	*	*	*		*
Hydraenidae	5					*		*		*
Hydrophilidae	3			*			*			*
Dryopidae	5		*	*	*	*				
Halyplidae	4		*							
<b>Puntuación Total</b>		50	99	88	48	92	84	72	89	91

14

ecológico”, aunque no se descartan algunos efectos de contaminación. Sin embargo, en la estación 1, a excepción del último mes de muestreo, el estado ecológico es “aceptable”, pero con una “calidad de agua dudosa”, existiendo presencia evidente de contaminación. Aunque no podemos ser concluyentes en cuanto al origen de las causas de perturbación en la estación 1,

es posible que la cercanía de los núcleos urbanos de Nerja y Frigiliana, la constante actividad humana en la zona (ganadería, tránsito de vehículos, turismo y residuos de origen antrópico), la existencia de una central eléctrica aguas arriba de la primera estación de muestreo y de una cantera inactiva hayan contribuido a la degradación del tramo fluvial que incluye a la es-

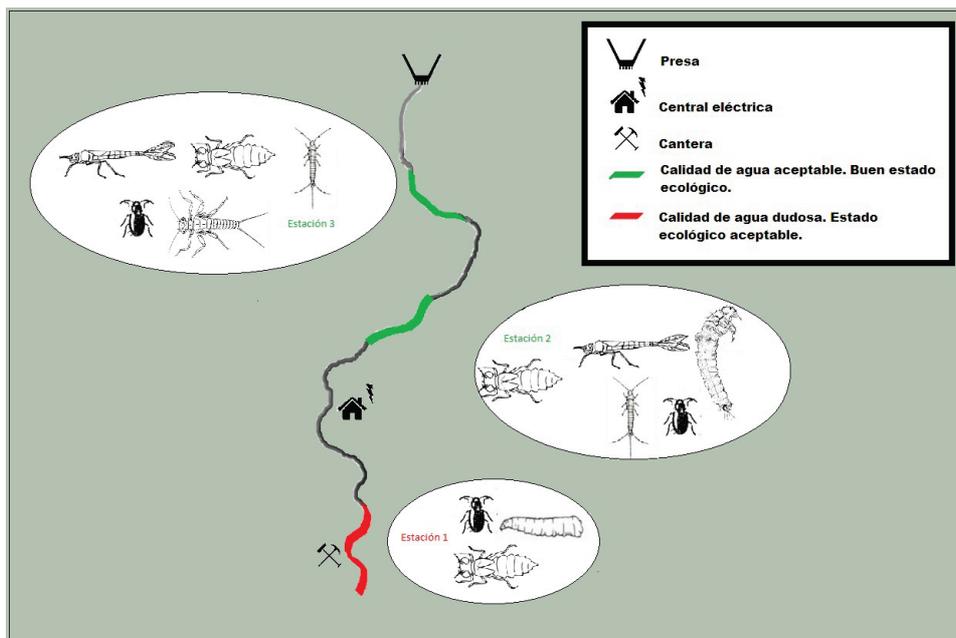


Figura 1

correspondientes a familias de plecópteros en la estación número 3, mientras que en la estación número 2 se encontró una clara dominancia de tricópteros y odonatos. Sin embargo, en la estación 1 se detectó muy poca o ninguna presencia de estos grupos.

Otro dato resaltable era la diferencia en la biodiversidad (tomada como número de especies encontradas) existente entre los distintos hábitats muestreados: las

tación 1, rebajando por consiguiente su valor de calidad del agua.

En todo caso, a pesar de que las estaciones 2 y 3 presentan una mayor calidad de agua es recomendable ser prudente ya que la intensa presencia humana en la época estival podría alterar intensamente el estado ecológico en esta zona.

A pesar de que este estudio se basa en evidencias cualitativas y no cuantitativas, es importante destacar que durante los muestreos se ha observado una mayor abundancia de individuos

de zonas de macrófitos siempre albergaban una mayor biodiversidad y abundancia de organismos que las zonas de pozas y rápidos, posiblemente debido a que ofrecen refugio y alimento a muchas de las familias encontradas.

**NOTA DE AGRADECIMIENTO:** Queremos agradecer al profesor Enrique Moreno Ostos sus aportaciones en la revisión y discusión del texto y apoyar nuestro trabajo en todo momento.

Tabla 2

Estado ecológico	Calidad	Índice IBMWP
Muy buena	Buena. Aguas no contaminada o no alteradas de modo sensible.	>101
Buena	Aceptable. Son evidentes algunos efectos de contaminación.	61-100
Aceptable	Dudosa. Aguas contaminadas.	36-60
Deficiente	Crítica. Aguas muy contaminadas.	16-35
Mala	Muy crítica. Aguas fuertemente contaminadas.	<15

**Bibliografía citada:**

1. Alba-Tercedor, J. & Sánchez-Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell. (1978). *Limnetica* 4 (51-56).
2. Muñoz, I. & Prat, N. (1992). Cambios en la calidad del agua de los ríos Llobregat y Cardener en los últimos 10 años. *Tecnología del Agua*, 91: 17-23.
3. Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV SIAGA*, 2: 203-213.
4. Prat, N.; Munné, A.; Rieradevall, M.; Bonada, N. (2000). La determinación del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en España. A Fabra, A., & Barreira, A. (eds.): *La aplicación de la Directiva marco del agua en España. Retos y oportunidades*. Madrid: IIDMA. 48-81.
5. Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Sáinz-Cantero, C., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M., Toro, M., Vidal-Abarca, M., Vivas, S., M., Zamora-Muñoz, C., (2002) Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica* 21(3-4): 175-185.
6. Figueroa Jara, J., R. (2004). Calidad ambiental de la Cuenca hidrográfica del río Chillán. VIII región, Chile. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*.
7. Jáimez-Cuéllar, P., Vivas, S., Bonada, N., Robles, S., Mellado, A., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Sáinz-Cantero, C., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M., Toro, M., Vidal-Abarca, M., Zamora-Muñoz, C., y Alba-Tercedor, J. (2002) Protocolo GUADALMED (PRECE) *Limnetica* 21(3-4): 187-204.
8. Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Robles, S., Sáinz-Cantero, C., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M., Toro, M., Vidal-Abarca, M., Vivas, S., y Zamora-Muñoz, C. (2002) Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica* 21(3-4): 175-185.



# Estudio de aves acuáticas en la Reserva Natural de las Lagunas de Campillos

Leticia Lopera Doblas, Raúl Cordero Arcas, José Carlos Atienza Fuerte  
Alumnos de Limnología (curso 2012-13), Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga

Los humedales constituyen complejos ecosistemas que ofrecen a las aves acuáticas ambientes adecuados y necesarios para descansar, alimentarse y nidificar. A su vez, las aves acuáticas desempeñan importantes funciones en estos ecosistemas, tales como consumo (herbívoro y carnívoro), aporte de materia orgánica y nutrientes, modificación física del hábitat o transporte activo de organismos entre lagunas.

La Reserva Natural de las Lagunas de Campillos (Málaga) comprende las lagunas Dulce, Cerrero, Salada, Redonda, Camuñas y Capacete (Ley 2/1989 sobre Espacios Naturales Protegidos de Andalucía). Aunque la Laguna Redonda no se incluye dentro del área de la Reserva, se sitúa dentro de la zona periférica de protección. Toda la Reserva Natural ha sido clasificada como *Lugar de Interés Comunitario* (LIC) así como *Zona de Especial Protección para Aves* (ZEPA).

Todas estas lagunas tienen origen endorreico y son temporales, de manera que dependiendo del nivel de precipitaciones podrán inundarse o no. En consecuencia, también presentan importantes variaciones en cuanto a la salinidad del agua, que varía entre los 6 g/l en la laguna de Capacete a los 100 g/l de la laguna Salada.

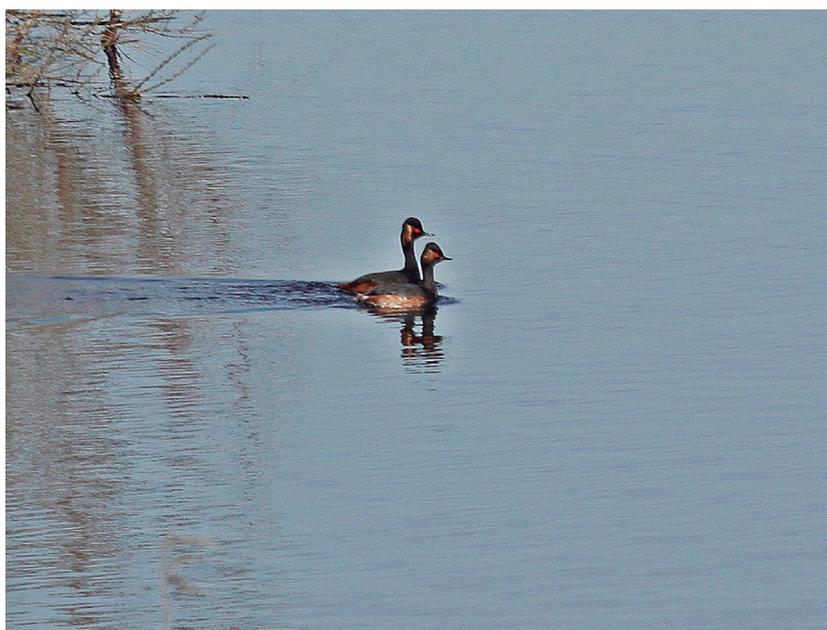
A lo largo de su historia, las lagunas de Campillos han sufrido intensos procesos de degradación ambiental con origen antrópico, entre ellos eutrofización, vertidos de purines, caza ilegal y reducción del hábitat, lo que ha afectado a especies sensibles de avifauna como la malvasía cabeciblanca (*Oxyura leucocephala*), actualmente en peligro (Lista Roja de la UICN), el pato cuchara (*Anas clypeata*) o el zampullín cuellinegro (*Podiceps nigricollis*) (Fig. 1) (Madroño et al., 2004) entre otros. En la actualidad, estas lagunas se encuentran en proceso de recuperación ambiental.

El presente estudio se ha llevado a cabo en el contexto de la asignatura de Limnología durante el curso académico 2011-2012 y de la asignatura Demografía y Dinámica de Poblaciones durante el

curso 2012-2013 (ambas asignaturas de la Licenciatura de Biología, Universidad de Málaga). El principal objetivo de este trabajo es describir la dinámica temporal y espacial de los diferentes grupos de aves acuáticas en las Lagunas de Campillos. Para ello, se realizaron 6 censos, tres durante la primavera de 2012 y otros tres durante el invierno de 2012-2013. En cada muestreo se visitaron todas las lagunas accesibles y se determinó la composición de la comunidad de aves acuáticas y la abundancia de cada una de las poblaciones identificadas. La identificación de especies se llevó a cabo mediante observación directa con prismáticos y reconocimiento en guías especializadas (Svensson et al., 2010) mientras que la abundancia se estimó mediante censo directo. Las especies identificadas se clasificaron en grupos funcionales. Además, se estudió el patrón de distribución espacial dentro de cada laguna.

Finalmente, con los datos de abundancia estimados se llevaron a cabo cálculos de diversidad (índice de Shannon) y dominancia (índice de Simpson) para la comunidad de aves en el conjunto lagunar y para cada muestreo.

A lo largo del periodo de estudio pudimos identificar hasta 30 especies de aves acuáticas



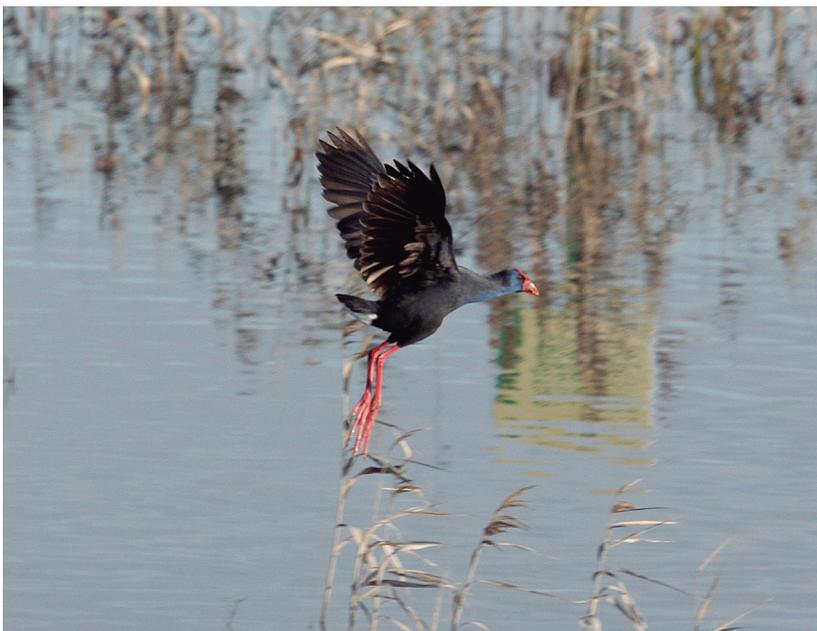
**Figura 1:** Zampullín cuellinegro (*Podiceps nigricollis*)  
(Fotografía de Leticia Lopera)

diferentes, sin contar aquellas especies que no son aves acuáticas pero viven o frecuentan el entorno del humedal, como el cernícalo primilla (*Falco naumanni*), elanio azul (*Elanus caeruleus*) y aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*), además de diferentes tipos de fringílidos como jilguero europeo (*Carduelis carduelis*), carbonero común (*Parus major*), golondrinas y aviones, currucas, etc.

### Distribución espacial

Nuestro estudio puso de manifiesto que determinados grupos funcionales como los patos buceadores, las zancudas, los ráldos y las limícolas presentaron una distribución espacial heterogénea de tipo contagioso, mientras que la distribución espacial de otros grupos más independientes del medio como las familias Laridae y Sternidae (Sterno-Laridae), los patos nadadores y los somormujos-zampullines se caracterizaron por un patrón espacial de tipo azaroso.

Las características físicas y el hábito alimentario de cada grupo funcional determinaron su posición en el plano horizontal de la laguna. Así, los patos buceadores como la malvasía cabeciblanca o el pato colorado (*Netta rufina*) se situaron en la zona más profunda de la laguna. Las aves zancudas como el flamenco común (*Phoenicopterus ruber*) frecuentaron la zona litoral, pero también se observaron en el interior de estas lagunas someras. Los ráldos como la focha común (*Fulica atra*), la polla de agua (*Gallinula chloropus*) y el calamón (*Porphyrio porphyrio*) (Fig. 2) sólo se localizaron en la orilla, bien nadando (sobre todo las fochas) o posadas fuera del agua (polla de agua y calamón). Las limícolas como el chorlito chico (*Charadrius dubius*) fue-



**Figura 2:** Calamón (*Porphyrio porphyrio*)  
(Fotografía de Leticia Lopera)

ron observadas en las zonas más elevadas del litoral mientras que la cigüeñuela común (*Himantopus himantopus*) (Fig. 3), ave dotada de un pico y patas más largos que los del resto de limícolas presentes en las lagunas, apareció generalmente en áreas más profundas de la zona litoral.



**Figura 3:** Cigüeñuela común (*Himantopus himantopus*)  
(Fotografía de Pilar Yu)

Las Sterno-Laridae (gaviotas y charranes) se encontraron tanto dentro como fuera de la laguna, sobrevolándola o posadas en ellas. El grupo de los ubicuos y generalistas patos nadadores (como *Anas platyrhynchos*) se distribuía típicamente por toda la lámina de agua. Un patrón similar fue registrado en el caso de los somormujos lavancos (*Podiceps cristatus*) (Fig. 4) y de los zampullines.

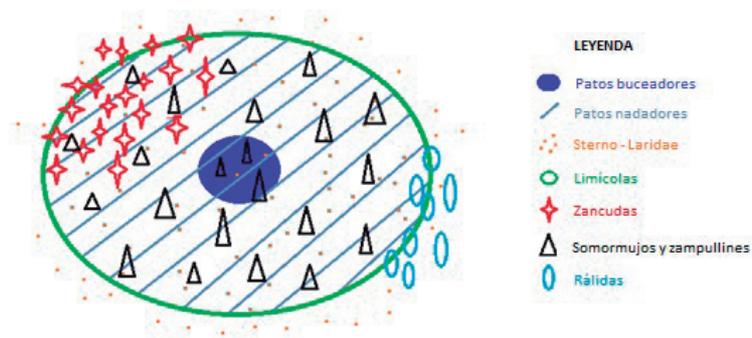
La figura 5 muestra un diagrama conceptual que representa la distribución general de los diferentes grupos funcionales de aves acuáticas censadas en las Lagunas de Campillos.

### Abundancia de individuos

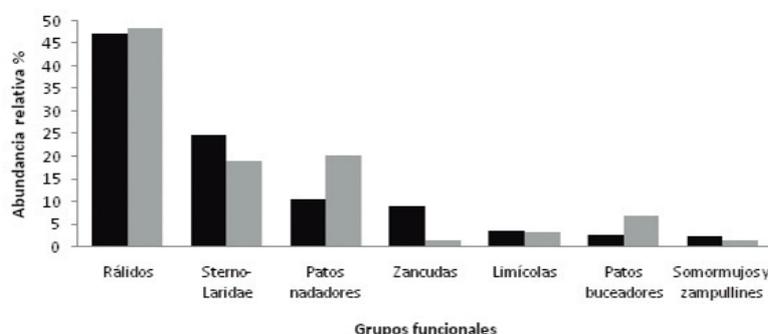
En cuanto a la abundancia de los diferentes grupos de aves en las lagunas estudiadas, el grupo más numeroso fue el de las ráldas en ambos periodos. Durante el invierno se produce la llegada de un gran número de individuos debido a la migración como es el caso de las gaviotas, patos nada-



**Figura 4:** Pareja de somormujos (*Podiceps cristatus*) (Fotografía de Leticia Lopera)



**Figura 5:** Patrón de distribución general de los diferentes grupos funcionales de aves registradas en las lagunas de Campillos durante este estudio



**Figura 6:** Abundancia relativa en % de los diferentes grupos funcionales de aves acuáticas registradas en la Reserva Natural de las Lagunas de Campillos durante este estudio. En negro se representa la primavera y en gris el invierno

dores y buceadores entre otros (Fig. 6).

### Diversidad y dominancia

En base a los datos de abundancia obtenidos en los 6 censos realizados, se pudo calcular el índice de diversidad de Shannon (Fig. 7) y de dominancia de Simpson (Fig. 8) correspondientes a la comunidad de aves acuáticas.

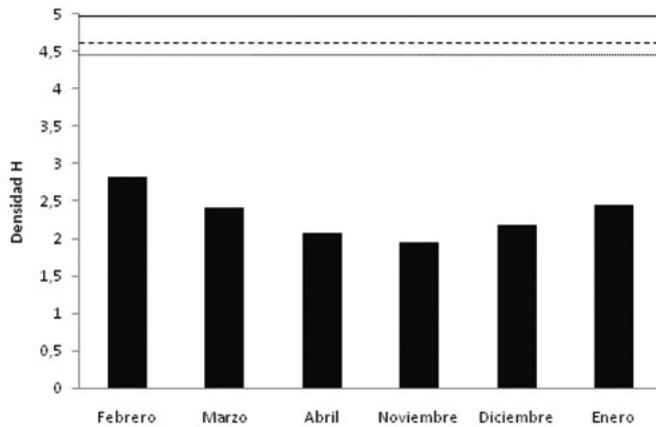
La máxima diversidad estimada que podría alcanzar la comunidad es de 4.91 bits/individuo, mientras que los valores registrados en este es-

tudio se sitúan en torno a 3 bits/individuo. Aunque es una diversidad típica en este tipo de comunidades, hay que considerar que el valor del índice de

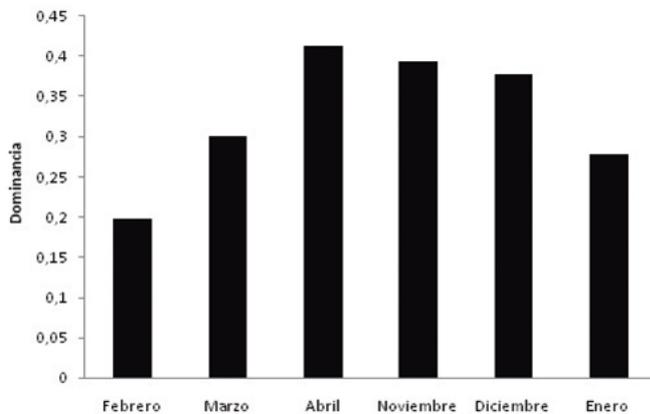
Shannon varió entre las diferentes lagunas. Este hecho es coherente con la afirmación de Craig y Beal (1992) de que las lagunas de mayor tamaño suelen presentar una mayor diversidad, mientras que lagunas más pequeñas son menos diversas, albergando solo las especies más abundantes y ubicuas. Además, se puso de manifiesto una relación positiva y estadísticamente significativa ( $R^2=0.77$ ;  $n=6$ ;  $p<0.02$ ) entre la superficie de las lagunas y el número de especies que albergaron a lo largo del periodo estudiado, observación coherente con la teoría de Biogeografía Insular de MacArthur y Wilson (1967).

Tal y como se muestra en la figura 6, el índice de Shannon aumenta en el invierno y disminuyó en el transcurso de la primavera. Esto es debido a la estacionalidad de una gran parte de las aves acuáticas que utilizan estas lagunas en invierno.

En cuanto a los valores del índice de dominancia, se registró un continuo incremento en el valor del índice de Simpson con el paso de la primavera, ya que especies como la focha común y los flamencos aumentaron su abundancia significativamente, mientras que la de otras especies como las gaviotas y patos buceadores disminuyó progresivamente en las lagunas. Como cabría esperar, durante el invierno disminuye este índice debido a la llegada de nuevas especies y disminución del número de las más abundantes.



**Figura 7:** Índice de Shannon para la comunidad de aves acuáticas en las Lagunas de Campillos durante el periodo de estudio. La línea continua representa la diversidad máxima total que la comunidad puede albergar, la línea discontinua representa la diversidad máxima para los censos de invierno y la línea de puntos representa la diversidad máxima para los censos de primavera, estimadas como,  $H_{m\acute{a}x} = \log 2S$ .



**Figura 8:** Índice de Simpson para la comunidad de aves acuáticas en las Lagunas de Campillo durante el periodo de estudio

## Conclusiones

En conclusión, los factores ambientales que determinan la distribución espacial y la abundancia de los diferentes grupos funcionales de aves en las lagunas de Campillos están relacionados directamente con la profundidad y la superficie del humedal inundada.

Los hábitos alimenticios de cada grupo funcional de aves acuáticas condicionan en buena medida su abundancia, su distribución espacial dentro de las lagunas y su período de permanencia en las mismas una vez se inicia la época estival y la consiguiente disminución del nivel de agua en las lagunas. De esta forma, los grupos de aves con una alimentación más generalista y menos especializada como la focha común (*Fulica atra*) y ánade real (*Anas platyrhynchos*) estarían siempre presentes tanto en las lagunas más grandes (laguna Dulce) como en las más pequeñas (laguna de Cerero), mientras que aquellas aves especialistas, como los patos buceadores (malvasía cabeciblanca, zampullín cuellinero o pato colorado, entre otros), quedarían restringidos a pequeñas zonas de la laguna, e incluso las abandonarían si el nivel de la lámina de agua descendiera demasiado (Paracuellos, 2006). También se ha comprobado que las lagunas con un área mayor contienen más especies que lagunas de menor área.

Son múltiples los condicionantes ambientales que tienen que concurrir para que las lagunas puedan albergar a las diferentes especies de aves que hemos identificado durante nuestro estudio. La adecuada gestión y conservación de esta Reserva Natural está contribuyendo decisivamente a que estas lagunas constituyan un hábitat adecuado para las especies de aves estudiadas.

### Bibliografía citada:

- Craig R.J., Beal K.G. The influence of habitat variables on marsh bird communities of the Connecticut River Estuary. *Wilson Bulletin* 104: 295–311, 1992.
- MacArthur R.H., Wilson E.O. *The theory of island biogeography*. 1967.
- Madroño A., González C., Atienza J.C. *Libro Rojo de las Aves de España*. Dirección General para la Biodiversidad SEO/Birdlife, Madrid. 2004.
- Paracuellos M. How can habitat selection affect the use of a wetland complex by waterbirds?. *Biodiversity and Conservation* 15:4569–4582, 2006.
- Svensson L. *Guía de Aves*. 2ª Ed. Editorial Omega, Barcelona. 2010.

# Observaciones sobre el estado trófico de un conjunto de lagunas costeras del arco atlántico-mediterráneo español

Francisco J. Torres Goberna

Alumno de Limnología (curso 2012-13), Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga

Las lagunas costeras mediterráneas constituyen masas de agua someras, de salinidad y volumen variable, que pueden estar total o parcialmente separadas del mar por bancos de arena, grava o incluso rocas. Respecto a la salinidad, sus aguas oscilan entre la categoría de "salobres" y la de "hipersalinas" como resultado de un régimen hidrológico y balance de aguas característico. Dentro de la categoría general "laguna costera" se engloban tres tipos diferenciados de ecosistemas:

- Lagunas costeras y albuferas.
- Humedales asociados a deltas, estuarios y llanuras de inundación.
- Salinas.

Estos ecosistemas presentan un gran interés debido a su elevada diversidad y riqueza de especies de flora y fauna. A pesar de ello, su ubicación hace de estas lagunas ecosistemas muy susceptibles de sufrir fuertes impactos ambientales de origen antropogénico (Cruz-Pizarro et al. 2003).

El término eutrofización ha sido utilizado para designar el aporte artificial e indeseable de nutrientes minerales (sobre todo fósforo y nitrógeno) a las masas de agua. Aunque el origen de este proceso está generalmente asociado a la presión antrópica, puede suceder también en condiciones naturales. Además, el aporte de nutrientes que puede resultar indeseable para una masa de agua puede resultar inocuo e incluso beneficioso para otras (Ryding et al, 1989). Actualmente una de las definiciones de eutrofización más difundida es el de la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982): *la eutrofización es el enriquecimiento en nutrientes de las masas de agua, que provoca una serie de cambios sintomáticos que resultan indeseables e interfieren con la utilización de las aguas como recurso. Entre estos cambios se encuentran el incremento en la producción de algas y macrófitas y el deterioro de la calidad físico-química del agua* (Ryding & Rast, 1989).

La eutrofización es uno de los mayores problemas que sufren nuestras masas de agua, no sólo por el deterioro ambiental que significa, sino por la rapidez con la que tiene lugar y la dinámica no-lineal y catastrófica con que acontece. El nitrógeno y fósforo se consideran nu-

trientes limitantes en ecosistemas acuáticos, y por tanto, los principales agentes causantes de la eutrofización. Este estudio centra su atención en el fósforo, ya que de los dos nutrientes considerados es el más frecuentemente limitante en ecosistemas acuáticos epicontinentales.

El presente trabajo pretende diagnosticar el estado trófico de las 26 lagunas costeras españolas incluidas la *Red Española de Humedales y Lagunas Costeras* (Red Marismas). Toda la información limnológica referente a estos ecosistemas y requerida en este estudio ha sido obtenida de la amplia base de datos publicada por los investigadores de dicha red (Red Marismas, 2008).

En la Figura 1 se muestra la localización geográfica a lo largo de las costas españolas de las lagunas estudiadas

Para llevar a cabo este diagnóstico se ha calculado el valor *Índice de Estado Trófico* (TSI, *Trophic State Index*) a partir de las expresiones propuestas por Carlson (1977). En concreto, se aplicaron aquellas fórmulas que utilizan como variables de diagnóstico el fósforo total (TP) y la concentración de clorofila a (Chl):

$$TSI (TP) = 10 \left( 6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right)$$

$$TSI (Chl) = 10 \left( 6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln Chl}{\ln 2} \right)$$

donde,

TSI (TP) es el TSI en función del TP

TP es la concentración de fósforo total ( $\mu\text{g/l}$ )

TSI (Chl) es el TSI en función de la clorofila a

Chl es la concentración de clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ )

Una vez obtenido el valor de TSI es posible encuadrarlo dentro de una de las cuatro categorías tróficas siguientes: *Oligotrófico* ( $TSI < 30$ ), *Mesotrófico* ( $30 < TSI < 60$ ), *Eutrófico* ( $60 < TSI < 90$ ) e *Hipereutrófico* ( $90 < TSI < 100$ ).



**Figura 1:** Localización geográfica de las 26 lagunas costeras consideradas en este trabajo.

En función de la variable de diagnóstico considerada, entre el 68% y el 86% de las lagunas costeras estudiadas presentaron valores de TSI correspondientes a la categoría Hipereutrófico, salvando unas pocas excepciones como Cabane (Castellón) o el Mar Menor (Murcia), que corresponden al 7-8% de lagunas estudiadas en las que el TSI sugiere un estado trófico correspondiente a la categoría de Oligotrófico (ver tabla 1). No obstante, es importante resaltar que el cálculo de TSI para el Mar Menor se realizó únicamente en base a la concentración de Chl en el agua. Recientes estudios en este mismo ecosistema (Salas et al. 2008) han puesto de manifiesto que el uso de esta variable de diagnóstico no es apropiado para la estimación del estado trófico en el Mar Menor, ya que los valores de concentración de Chl registrados son bajos debido al control ejercido por las larvas de peces y el zooplacton gelatinoso sobre el fitoplancton, y no debido a una baja concentración de nutrientes en sus aguas. Por tanto, es esperable que el TSI de este ecosistema sea mucho más elevado si se calcula en base a su TP.

En términos generales, existe gran coherencia entre los resultados de TSI obtenidos cuando

se usan como variables de diagnóstico Chl y TP, con alguna excepción como el caso del Ullal de Baltasar (Tarragona), clasificable como Mesotrófico cuando se utiliza Chl como variable diagnóstica y como Hipereutrófico si se usa TP (Tabla 1).

En la Figura 2 se muestra el porcentaje de las lagunas estudiadas que se encuentra en los diferentes estados tróficos considerados, dependiendo de si se usan los valores de Chl o de TP en el cálculo de TSI. Cuando se utiliza el TP como variable de diagnóstico aumenta el porcentaje de lagunas diagnosticadas como Hipereutróficas. En todo caso, es necesario indicar que en muchas de las lagunas estudiadas no se poseen datos de fósforo total, lo que podría suponer variaciones en los porcentajes expresados en la Figura.

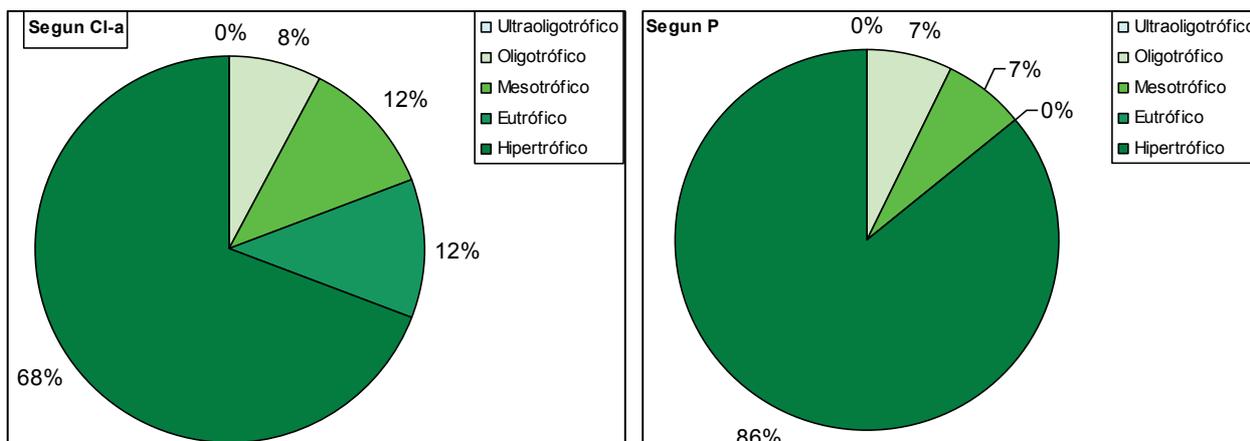
Las lagunas costeras españolas, con pocas excepciones, se caracterizan por estados tróficos que oscilan entre Eutrófico e Hipereutrófico. Esto se debe, en parte, a su ubicación en la zona litoral, que hace que sean muy susceptibles a los impactos ambientales de origen antrópico, derivados especialmente de la explotación agrícola y turística de las costas. Por este motivo, es

Tabla 1

Lagunas	TSI (Cl a)	Categoría trófica	TSI (TP)	Categoría trófica
Laguna Honda	79,90	Hipertrófico	86,02	Hipertrófico
Laguna Nueva	69,68	Hipertrófico	68,98	Hipertrófico
Albufera valencia	85,65	Hipertrófico	89,00	Hipertrófico
Alt empordà	59,94	Eutrófico	79,06	Hipertrófico
Laguna Era Ramón	77,18	Hipertrófico	92,76	Hipertrófico
Laguna Ter Vell	79,40	Hipertrófico	100,85	Hipertrófico
Islas Budas	57,43	Eutrófico		
Cabanc	38,50	Oligotrófico	38,61	Oligotrófico
Cap de terme	74,18	Hipertrófico	72,35	Hipertrófico
Delta Llobregat	85,00	Hipertrófico		
El Hondo	78,65	Hipertrófico		
El Senillar	61,99	Hipertrófico	76,91	Hipertrófico
Encanyissada	55,32	Eutrófico	84,64	Hipertrófico
Estuario Guadalquivir	44,39	Mesotrófico		
La Ricarda	85,10	Hipertrófico	76,43	Hipertrófico
Mar menor	33,12	Oligotrófico		
Tancada	70,71	Hipertrófico	82,60	Hipertrófico
Santa Olalla (Doñana)	97,50	Hipertrófico		
Dulce (Doñana)	97,50	Hipertrófico		
Las verdes (Doñana)	97,50	Hipertrófico		
Charco toro (Doñana)	97,50	Hipertrófico		
Taraje (Doñana)	97,50	Hipertrófico		
Llull baldovi	42,52	Mesotrófico	49,93	Mesotrófico
Llull Baltasar	48,91	Mesotrófico	85,94	Hipertrófico
Humedal murcia	65,43	Hipertrófico		
Xeresa-Xerarco	83,84	Hipertrófico		

necesaria la evaluación de las cargas de nutrientes en las aportaciones a las lagunas, así como realizar planes de actuación acorde a las necesidades de cada ecosistema. La mayor parte de los sistemas estudiados en este trabajo son lagunas con extensas superficies y poca profundidad, lo que implica un mayor riesgo de sufrir procesos de eutrofización. Esta susceptibilidad es aún mayor en la zona litoral (Jordan et al, 1987). El continuo aporte de nutrientes como nitrógeno y el fósforo, principales causantes de la eutrofización, por parte de las crecientes actividades antrópicas en el litoral no hace sino agravar su estado (Álvarez-Cobelas et al, 1991).

A pesar de sus limitaciones, el cálculo del TSI sigue siendo una herramienta muy útil en el diagnóstico de la calidad del agua, tanto por su sencillez como por su capacidad descriptiva y diagnóstica. Estas características lo hacen especialmente adecuado como indicador de calidad ecológica en el contexto de la Directiva Europea Marco del Agua. No obstante, es muy recomendable usar distintas variables a la hora de estudiar el TSI de las lagunas para poder evitar que los procesos subyacentes que acontecen en su seno resulten en unos valores que no se correspondan con la realidad, como quedó puesto de manifiesto en el caso del Mar Menor. En todo caso, la variable más directa y fiable será la concentración de fósforo total.



24

**Figura 2:** Porcentaje de lagunas estudiadas correspondientes a las distintas categorías tróficas consideradas. Panel izquierdo: variable de diagnóstico Chl. Panel derecho: Variable de diagnóstico TP.

#### Bibliografía citada:

- Álvarez-Cobelas, M., P. Muñoz Ruiz y A. Rubio Olmo. 1991. La eutrofización de las aguas continentales españolas. Barcelona. Henkel Iberica S. A. 339 p.
- Carlson, Robert E. A trophic state index for lakes. 1977. Limnology Oceanography, 22 (2), 361-369.
- Salas, F., H. Teixeira, C. Marcos, J.C. Marques y A. Pérez-Ruzafa. 2008. Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: the Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal).
- Jordan, W. R., Michael E. Gilpin y J. D. Aber. Restoration ecology. A synthetic approach to ecological research. 1987. Cambridge University Press, 342p.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assesment and control. Final Report. OECD Cooperative Programme on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate, OECD, París. 154p.
- Red Marismas, Spanish network on coastal wetlands and lagoons. 2008. A network in support of the implementation of the Water Framework Directive with the collaboration of Institute for the Environment and Sustainability. Joint Research Centre of the European Commission.
- Ryding S.O. y W. Rast. 2002. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. París. Serie el hombre y la biosfera (UNESCO), vol. 1, 314 p.

## VIDA Y OBRA

## Zuckermandl, el biólogo que nos enseñó a viajar en el tiempo



25

No hace mucho, el pasado 9 de Noviembre, fallecía Émile Zuckerkandl a la edad de 91 años. Una vida larga, una vida que deja tras de sí el impulso que permitió el alumbramiento de una nueva disciplina biológica, pero como no quiero narrar los acontecimientos de forma atropellada, comenzaré por el principio.

Émile nació el 4 de Julio de 1922 en la bella ciudad austriaca de Viena, donde pasaría sus primeros años de vida en el seno de una familia judía muy activa en el ámbito intelectual de la época. Su padre, Frederick, era bioquímico reconvertido a filósofo, mientras que su madre, Gertrude, era artista. Sus dos abuelos, anatomistas. De hecho, el abuelo paterno describiría en 1901 un cúmulo de tejido neuroendocrino, localizado en el área toracoabdominal, que conocemos actualmente como órgano de Zuckerkandl, en honor al abuelo de nuestro hombre. La abuela paterna, Berta, de profesión periodista, también era una destacada intelectual de la época.

En 1938 la Alemania nazi de Hitler se anexiona Austria, forzando el traslado de la familia Zuckerkandl a Francia. Es en París donde Émile termina sus estudios preuniversitarios. Sin embargo, en 1940 tras la capitulación del gobierno francés, la familia Zuckerkandl se ve forzada nuevamente a hacer las maletas para trasladarse a Argelia. Es en este periodo cuando el joven Émile se plantea su futuro profesional, barajando, con distinto grado de entusiasmo, las posibilidades de

hacerse pianista o médico. Finalmente ni una cosa ni la otra, ya que pronto descubriría que su verdadera vocación pasaba por la Biología. Haciendo uso de las influencias familiares, más concretamente, tirando de la amistad con un estrecho colaborador del ya entonces afamado Albert Einstein, y por intermediación de este último, Zuckerkandl obtiene una beca para estudiar en Estados Unidos. Sin embargo, eran tiempos de guerra, tiempos difíciles e inciertos y Émile no abandonaría Argelia hasta 1945, finalizada ya la Segunda Guerra Mundial, y lo hará para pasar un año en la Sorbona (París). En París descubre que a pesar del tiempo transcurrido, la beca que le consiguiera Einstein seguía vigente y decide aprovecharla.

Tras un breve periodo de formación por tierras americanas, vuelve a la Sorbona con un máster en Fisiología. En la Sorbona obtiene el doctorado en Biología, tras lo cual pasará 10 años en el mayor laboratorio de biología marina de Francia (La Estación Biológica de Roscoff). Allí parece llevar una vida tranquila entre cangrejos. Más concretamente, Émile tenía puesto su interés en las proteínas con cobre de estos crustáceos.

Aunque las contribuciones relevantes aún tardarían en llegar, 1958 fue un año decisivo en la vida de nuestro protagonista. Empujado por el buen consejo de amigos y aprovechando un viaje de Linus Pauling a Francia, Émile se entrevista en París con este último y le propone un proyecto para es-

tudiar la hemocianina y otras metaloenzimas. Un año más tarde, Pauling recomendaría a Zuckerkandl para una posición postdoctoral en Caltech. Es en este punto donde la buena estrella de nuestro hombre empieza a brillar, aunque al principio Zuckerkandl no lo entendiera así. Nada más incorporarse al Caltech, Pauling sugiere olvidar el proyecto sobre hemocianina y en su lugar estudiar la evolución de la hemoglobina en primates. Al principio, tal sugerencia decepciona profundamente a Zuckerkandl, aunque a la larga reconocería que la propuesta de Pauling fue oportuna y acertada. Tan acertada, que a la postre contribuiría al desarrollo de una nueva disciplina como es la Evolución Molecular. En este sentido fueron decisivos los primeros años de la década de los 60, durante los cuales se desarrollaron y publicaron algunas ideas claves en el ámbito de esta disciplina. Me centraré, pues, en narrar los acontecimientos acaecidos en ese periodo.

Cuando Zuckerkandl se incorpora al Caltech para trabajar sobre la evolución de la hemoglobina bajo la supervisión de Pauling, este último, a pesar de ser ya un laureado Nobel, no contaba con laboratorio propio en el centro, por lo que Pauling le pide a Walter Schroeder que acoja en su laboratorio a Émile Zuckerkandl y a Richard T. Jones, a la sazón un joven doctorando de Pauling. A principio de los años 60 se desconocía la estructura primaria de las cadenas de la hemoglobina, así, pues, para comparar la hemo-





También, merece recibir mérito, junto con Vernon Ingram, por la normalización del uso de conceptos como el de genes o proteínas homólogos (llamados parálogos cuando se dan dentro de una misma especie y ortólogos entre especies).

Cuando esto ocurre el cromóforo sufre un cambio de conformación que activa a la rodopsina desencadenando una cascada de señalización, que finalmente conduce la señal luminosa hasta el cerebro. Los investigadores de Yale fueron

vo centro dedicado a la investigación de macromoléculas biológicas, al frente del cual permanecería durante una década, más dedicado a las tareas administrativas que a las científicas, cosa de la que él en alguna ocasión se lamentó. Por ejemplo, en una carta dirigida a Pauling en 1971, escribía "No fui capaz de prever los tan particulares obstáculos que encontraría en mi camino. La burocracia consume mi tiempo". También, por estos años, en cierta ocasión fue preguntado cómo Pauling podía compatibilizar su actividad científica con su activismo social, y la irónica respuesta de Émile fue que, eso sólo es posible porque Pauling no pertenece a un departamento de investigación en Francia. Otro de los honores con que cuenta en su haber Zuckerkandl, es el de haber sido el primer editor jefe de la primera revista de la nueva disciplina Evolución Molecular. Efectivamente, en 1970, constatando el auge de esta disciplina emergente, y barruntando los futuros éxitos y el progreso de la misma, Konrad Springer decide fundar una revista, *Journal of Molecular Evolution*. Aunque Springer barajó inicialmente el nombre de Tom Jukes como editor jefe, hubo quien desaconsejó nombrar a Jukes como editor, por lo que Springer optó por ofrecerle la responsabilidad a Émile Zuckerkandl, quien permanecería al frente de la revista hasta finales de los 90. Mucho antes, hacia finales de los 70, Zuckerkandl vuelve a los Estados Unidos, al Instituto Linus Pauling, donde trabaja sobre la vitamina C y ayuda a su maestro en las tareas administrativas. En 1992 fue nombrado director del Instituto de Medicina Molecular, el nuevo nombre con el que fue rebautizado el viejo

27



**Figura 2: El método científico versus el método religioso.** Estas viñetas ilustran el abismo que separa al creacionismo de la ciencia. El dibujo es original de Pablo Aledo Esteban.

También en esta dorada época, Pauling y Zuckerkandl llevan a la arena pública la discusión sobre la posibilidad de inferir las secuencias de proteínas ancestrales, a partir del análisis de secuencias ortólogas de especies existentes. Medio siglo más tarde, estas ideas pioneras han dado lugar a una metodología que permite la resurrección de proteínas pertenecientes a organismos extinguidos hace cientos de millones de años. Un ejemplo llamativo, lo constituye el estudio que llevaron a cabo biólogos de la Universidad de Yale, en el que se caracterizó funcionalmente la proteína rodopsina correspondiente a un antepasado de los dinosaurios que vivió hace 240 millones de años.

Embebidas en las membranas de los bastones de la retina se encuentra la rodopsina, una proteína transmembranal que tiene unido un cromóforo, capaz de absorber luz visible.

capaces de expresar en células en cultivo la matusalénica proteína, a partir de la secuencia inferida tras la comparación de secuencias actuales de aves, reptiles y otros vertebrados. El estudio de esta proteína recombinante, que resultó funcional, permitió concluir que estos antecesores de los dinosaurios, posiblemente tuvieron una visión nocturna mejor que la de muchos vertebrados actuales, ya que la rodopsina ancestral era activada por luz visible sesgada hacia el rojo (508 nm), en comparación con la rodopsina de los vertebrados actuales (498 nm). Sea como fuere, resulta emocionante tener la posibilidad de resucitar y estudiar proteínas pertenecientes a organismos que dejaron de vivir hace cientos de millones de años.

Hace mucho menos tiempo, a mediados de los sesenta, Zuckerkandl retorna a Francia (Montpellier) para asumir la dirección científica de un nue-



Instituto Linus Pauling. En estos años no todo fue de color de rosa, ya que el instituto pasaba por serias dificultades económicas. Además, había otras fuentes de preocupación y sinsabores. Así, por ejemplo, en 1991 Émile escribía, refiriéndose a los creacionistas en los

EEUU, "dado que ellos amenazan seriamente la educación y la cultura de este país, merecen una respuesta". Efectivamente, Zuckerkandl dedicaría buena parte de sus energías a replicar a los creacionistas. Sin embargo, la salud de nuestro hombre se iría deteriorando paulatinamente a medida que pasaban los años, hasta que finalmente

el 9 de Noviembre de 2013 en Palo Alto, California, falleció víctima de un tumor cerebral, aunque más preciso hubiera sido decir víctima de sus muchos años.



Figura 3: El rostro de algunos de los protagonistas

**Notas:**

1. La hemocianina es una proteína presente en la sangre de algunos invertebrados y que transporta oxígeno. Su función es, pues, equivalente a la de la hemoglobina. Sin embargo, en lugar de hierro presenta dos átomos de cobre en su centro activo, lo que le confiere el color azul (cian) que da lugar a su nombre.
2. Las proteínas que en distintas especies provienen de una proteína ancestral que poseía un antecesor común a ambas especies, se denominan ortólogas.
3. Famoso físico reconvertido a biólogo y galardonado con el premio Nobel por su trabajo con fagos. Actor y espectador (como se aprecia en este caso) de primera fila del florecimiento de la Biología Molecular.
4. El término actual para referirnos a este concepto es el de genes parálogos. Dos genes presentes en una especie que proceden de un gen ancestral común.
5. *Journal of the History of Biology* (1998) 31: 155-178.
6. Descubridor de la vitamina C.
7. E. Zuckerkandl & L.B. Pauling (1962) Molecular disease, evolution, and genetic heterogeneity. In *Horizons in Biochemistry*, pp. 189-225.
8. Quien fuera otro de los pioneros de la Evolución Molecular, y de quien quizás en alguna ocasión futura escribamos, ya que además de pionero fue todo un carácter, conservador y poco dado a hacer amigos.



## Vida artificial: en la encrucijada

José David Fernández Rodríguez

Investigador post-doctoral contratado en un proyecto de investigación de excelencia de la Junta de Andalucía (P09-TIC-5123). Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga  
 Málaga  
 josedavid@aeab.uma.es

En las últimas décadas, la línea divisoria entre la Biología y las Ciencias de la Computación se ha ido difuminando paulatinamente. Por un lado, una gran cantidad de métodos computacionales (colectivamente conocidos como métodos bioinspirados) han surgido de una amplia variedad de sistemas o procesos biológicos, como los algoritmos evolutivos, las redes neuronales artificiales o la computación basada en membranas. Por otro lado, el avance científico en la inmensa mayoría de las disciplinas de la Biología ha abocado a los investigadores a depender completamente de sistemas informáticos y métodos computacionales para el procesamiento, análisis y síntesis de la información, como es el caso de la Genómica, la Proteómica y otras disciplinas biológicas auxiliadas por las herramientas de la Bioinformática.

Mención aparte merece la Biología Computacional, que a grandes rasgos consiste en el desarrollo de técnicas computacionales para la simulación y el análisis de sistemas o procesos biológicos a múltiples niveles. A las conocidas técnicas experimentales comúnmente llamadas *in vivo* (con el organismo vivo) e *in vitro* (con células o tejidos cultivados en material de laboratorio), la Biología Computacional añade una tercera: *in silico*, o experimentación mediante simulación informática. Pertenecen a la Biología Computacional disciplinas tan dispares como la Neurociencia Computacional, la Biología de Sistemas o la Proteómica (en lo que se refiere a la predicción del plegado y la función de las proteínas).

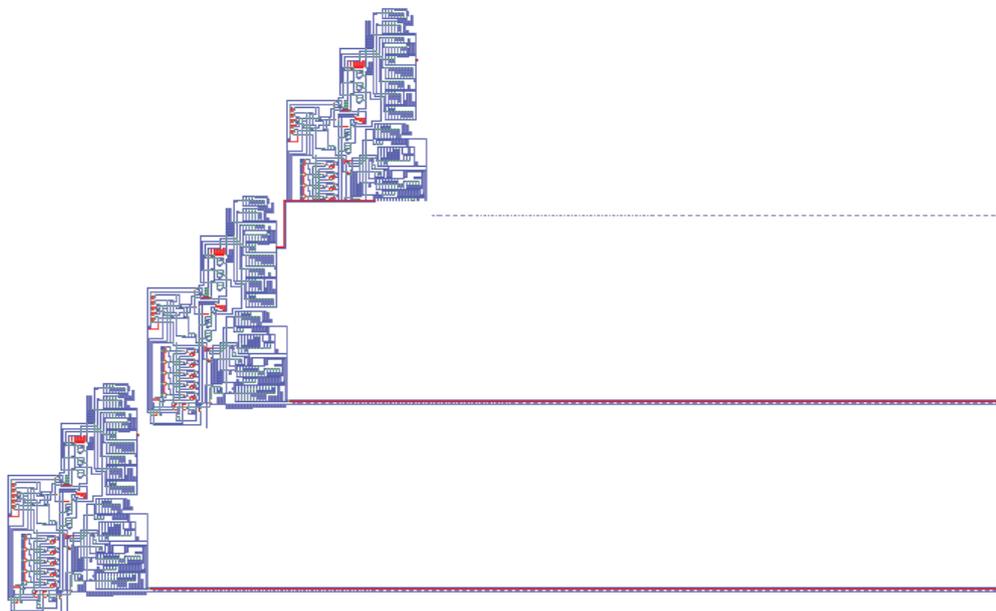
Es en este contexto en el que podemos introducir la Vida Artificial como una disciplina que intenta entender los fenómenos asociados a la vida a través de modelos computacionales. Como puede deducirse de esta definición, la frontera entre Biología Computacional y Vida Artificial es muy permeable, y es difícil decidir dónde acaba una y empieza la otra. Por ello, debemos de aclarar dicha definición para evitar confusiones en la medida de lo posible. A diferencia de la Biología Computacional, la Vida Artificial no busca (en términos generales) comprender o modelar un sistemas o procesos biológicos concretos, sino más bien ganar un conocimiento más profundo de cómo funciona la vida y los procesos biológicos, estudiando

modelos computacionales más o menos abstractos que reúnen algunas de las características de la vida, sin modelar exactamente un sistema o proceso biológico. En palabras de Christopher Langton, el hombre que acuñó el término "Vida Artificial", mientras que la Biología estudia la vida tal como es, la Vida Artificial estudia la vida tal como podría ser (1).

Uno de los temas recurrentes dentro de la Vida Artificial es el estudio de cómo un sistema con reglas muy sencillas puede dar lugar a un proceso o comportamiento muy complicado. Ésta es una de las razones por la cual es común usar herramientas como autómatas celulares, redes booleanas, redes neuronales, simuladores de física o paradigmas eco-evolutivos. En este sentido, la Vida Artificial solapa en cierto grado con el estudio de los Sistemas Complejos.

Veamos como primer ejemplo lo que (retrospectivamente) puede considerarse como una de las instancias más tempranas de Vida Artificial: la máquina de von Neumann. Aunque actualmente nos pueda parecer raro, a principios del siglo XX a nadie se le ocurría que un automatismo pudiera reproducirse. El acto de auto-replicación parecía algo tan complicado que se suponía que en la práctica solamente podía ser llevado a cabo por seres vivos. Sin embargo, el polifacético científico John von Neumann estaba convencido de lo contrario, y para probarlo diseñó en los años 40 y 50 del pasado siglo (aunque su trabajo vio la luz años después de su muerte, en 1966) un formalismo matemático (basado en el concepto de autómata celular), un modelo abstracto de máquina que, siguiendo una lista de instrucciones codificada en una cinta, era capaz de reproducirse a sí misma y a la propia cinta.

Aunque hoy en día no resulte tan impresionante, dentro de su contexto histórico la máquina de von Neumann representa un estudio de Vida Artificial en toda regla: usando un formalismo matemático, define un sistema que, sin imitar fielmente a la Biología (al menos según el estado del conocimiento durante la vida de von Neumann), reproduce una propiedad o característica de los seres vivos, en este caso, la capacidad de reproducción. El valor de la máquina de von Neumann reside en su carácter pionero:



**Figura 1:** Autómatas de Von Neumann en proceso de auto-replicación. Un autómata (abajo) ha interpretado su cinta de instrucciones para construir un segundo autómata y una segunda cinta (medio). Dicho autómata sigue a su vez su cinta de instrucciones para generar un tercer autómata (arriba). Fuente: Wikipedia

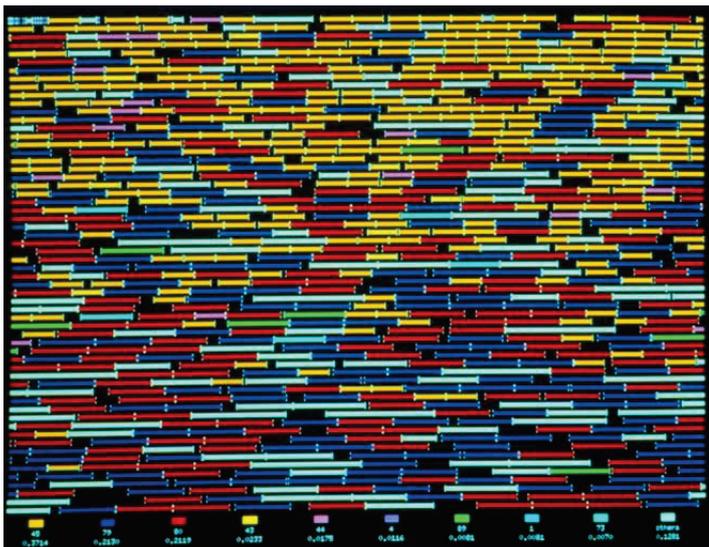
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nobili\\_Pesavento\\_2reps.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nobili_Pesavento_2reps.png)

resulta extremadamente interesante que, aunque en su momento se desconocía la forma en que las células eran capaces de reproducirse, von Neumann ideó un sistema artificial que se parece en lo esencial al esquema reproductivo biológico: la cinta de instrucciones puede asimilarse por analogía a una hebra de ADN, y la máquina de von Neumann puede interpretarse como el aparataje celular que sigue las instrucciones del ADN para replicar el ADN y a sí mismo. Se puede decir que captura una de las propiedades fundamentales de la vida (la función de reproducción) en un sistema que, precisamente por su simplificación y su alejamiento de lo que normalmente entendemos como ser vivo, nos ayuda a reflexionar sobre dicha propiedad.

Otros ejemplos tempranos de Vida Artificial son el autómata celular que Francisco Varela usó en 1974 para ilustrar el concepto de autopoiesis o el famoso modelo Daisyworld que James Lovelock presentó en 1983 como un ejemplo muy simplificado de cómo podrían funcionar los mecanismos ecológicos auto-reguladores de la hipótesis Gaia, y que ha dado lugar a una rica literatura que explora dicho modelo y muchas de sus variantes. Sin embargo, mucho más notable es el caso de Tierra, una simulación desarrollada en 1991 por el biólogo Thomas Ray, en la que un

ordenador simulado ejecuta una serie de programas informáticos que se replican, están sujetos a mutaciones y compiten entre sí por los recursos del ordenador. El resultado es un proceso evolutivo totalmente controlable y fácilmente analizable. El propio Ray despertó cierta polémica al afirmar que los programas informáticos que evolucionaban en su simulación no imitaban procesos biológicos, sino que directamente podían considerarse como seres vivos a todos los efectos.

Tierra despertó gran interés tanto dentro como fuera de la comunidad de Vida Artificial, hasta el punto de que un sistema derivado, llamado Avida, ha sido usado para realizar gran cantidad de experimentos sobre una amplia variedad de cuestiones relativas a la teoría evolutiva, llamando incluso la atención del prestigioso biólogo Richard Lenski (famoso por su experimento sobre la evolución a largo plazo con *E. coli*), y logrando la publicación de algunos de estos experimentos en la revista *Nature*. En este sentido, Tierra y sus derivados pueden considerarse una de las ramas más exitosas de la Vida Artificial. Las ventajas de usar organismos digitales en lugar de organismos reales para plantear experimentos evolutivos son la rapidez de las simulaciones informáticas y la posibilidad de llevar un registro



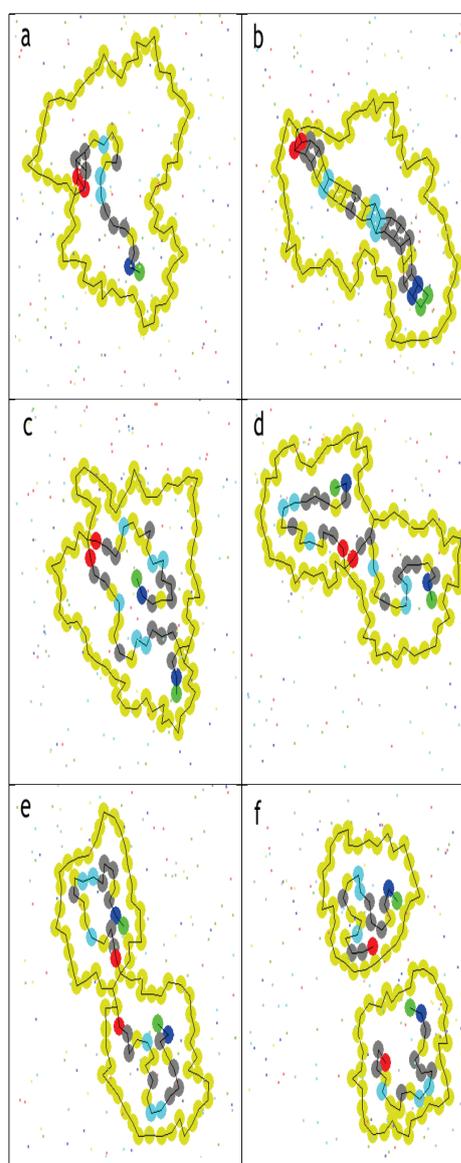
**Figura 2:** Visualización de una simulación de organismos digitales en Tierra, de Thomas Ray. Los organismos son programas informáticos que compiten por los recursos de un ordenador simulado. Fuente: Marc Cyrus <http://life.ou.edu/tierra/>

exacto del proceso evolutivo hasta en sus más mínimos detalles, respecto a los inconvenientes de interpretar los datos de costosos estudios de campo, largos experimentos o estudios paleontológicos que en el mejor de los casos serán incompletos e intermitentes.

Otra de las ramas de la Vida Artificial es el estudio de las Químicas Artificiales, que plantean una aproximación radical: si un ser vivo es el resultado de la interacción de sus componentes moleculares inanimados, es posible estudiar propiedades y procesos relacionados con la vida construyendo formalismos que imitan los procesos químicos de distintas maneras. Estos formalismos van desde imitaciones muy aproximadas de procesos bioquímicos, como es el caso de las pseudo-células auto-replicantes de Tim Hutton, a sistemas más abstractos en los que las especies reactivas son expresiones matemáticas, cadenas de caracteres, grafos abstractos o autómatas celulares, y el objetivo es la comprensión de cómo surgen, evolucionan y funcionan las redes metabólicas y algunas propiedades biológicas como la homeostasis o la auto-replicación. Al estudiar estas cuestiones en sustratos radicalmente distintos a los de la Bioquímica convencional, se pueden considerar a las Químicas Artificiales como una de las formas más fieles del estudio de la vida "tal como podría ser".

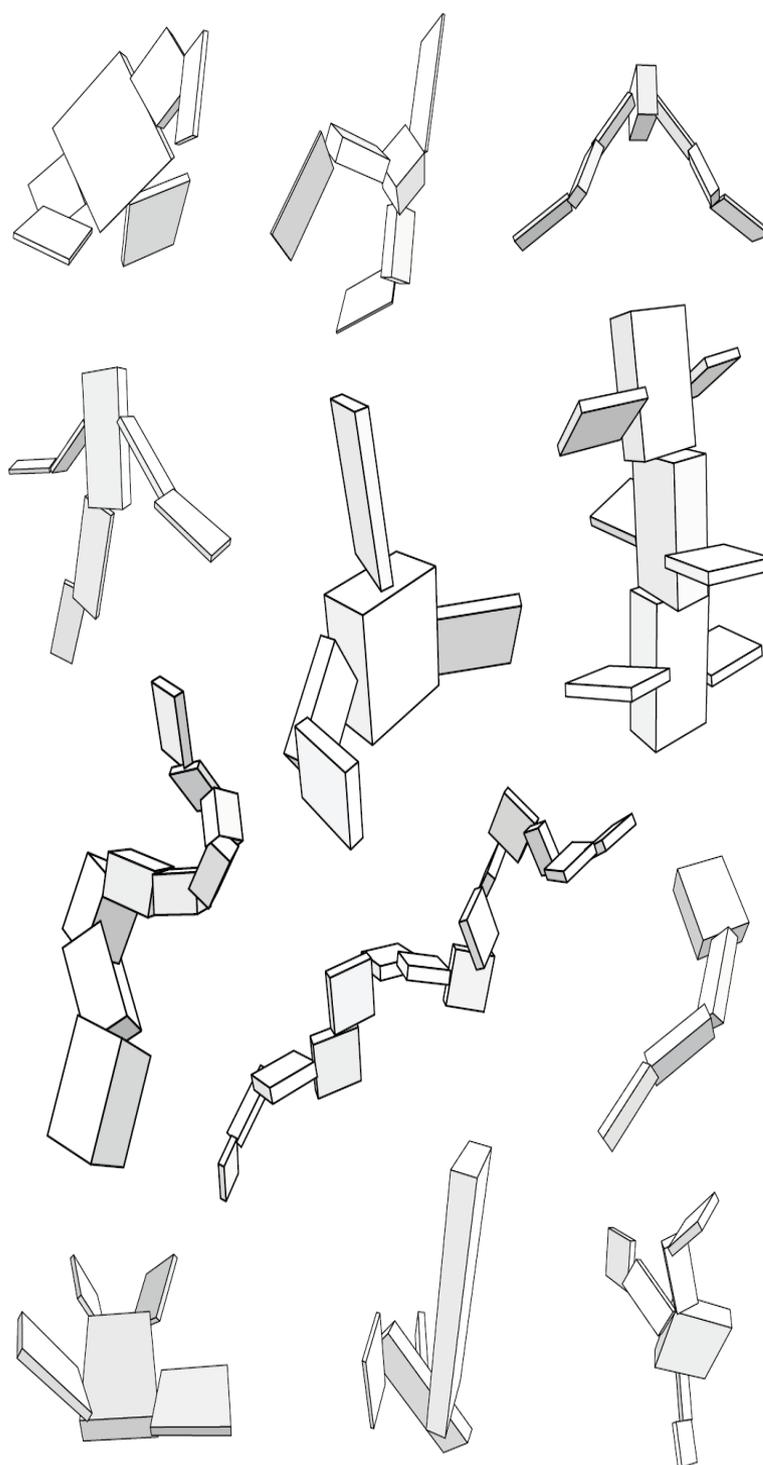
Sin embargo, la vertiente más conocida (y hasta podríamos decir que tradicional) de la Vida Artificial la podemos encontrar en las simulaciones más o menos sofisticadas de agentes artificiales imitando organismos o procesos

biológicos de una forma menos abstracta y más explícita que en los ejemplos presentados anteriormente. Existe una tremenda variedad de estas simulaciones, hasta tal punto de que el único nexo de unión más o menos generalizado es el uso de procesos evolutivos. En general, las simulaciones pueden centrarse en el estudio de organismos individuales, en cuyo caso se pueden usar modelos físicos más o menos realistas, como las criaturas virtuales capaces de comportamientos locomotores que Karl Sims presentó en 1996, o las que se centran en estudiar la fenomenología a escala poblacional o ecológica, como el estudio de dinámicas evo-



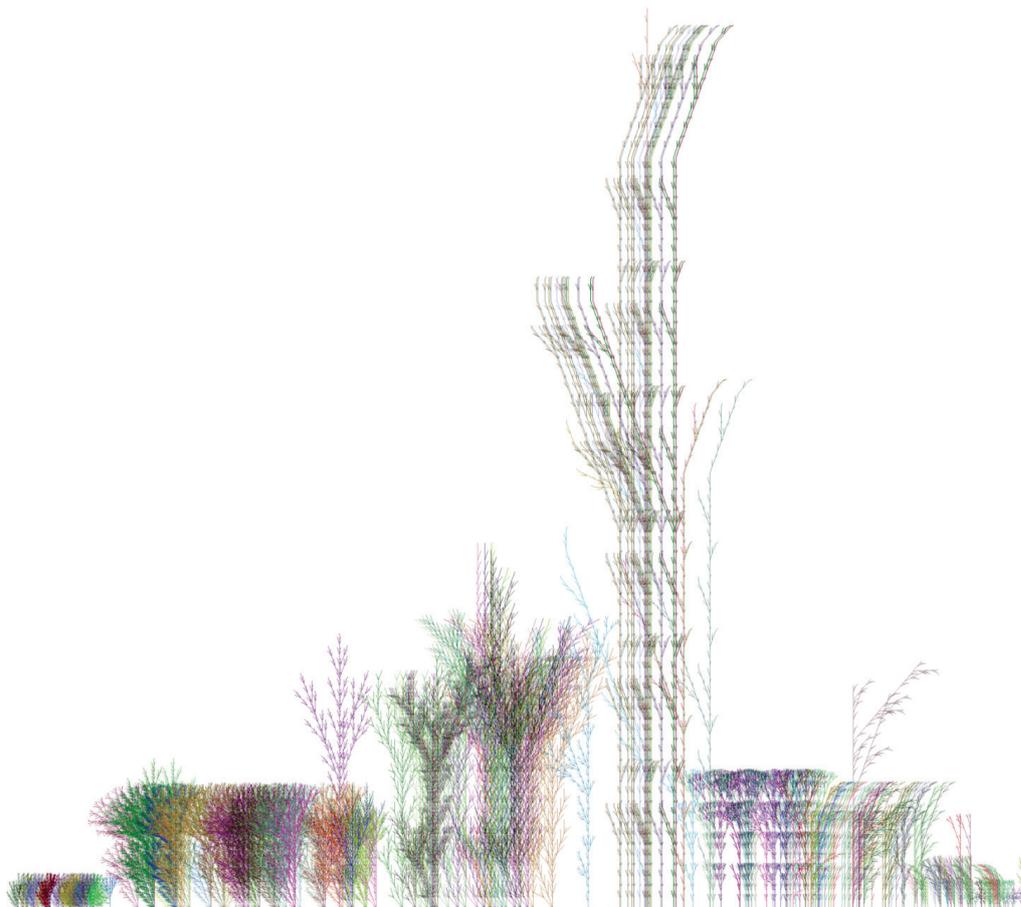
**Figura 3:** Auto-replicación de una estructura pseudo-celular en una química artificial.

Fuente: Tim Hutton  
<http://www.sq3.org.uk/>



**Figura 4:** Criaturas artificiales de Karl Sims. Múltiples morfologías y esquemas de locomoción han evolucionado para moverse en una simulación físicamente realista de un medio acuático. Fuente: Karl Sims

<http://www.karlsims.com/evolved-virtual-creatures.html>

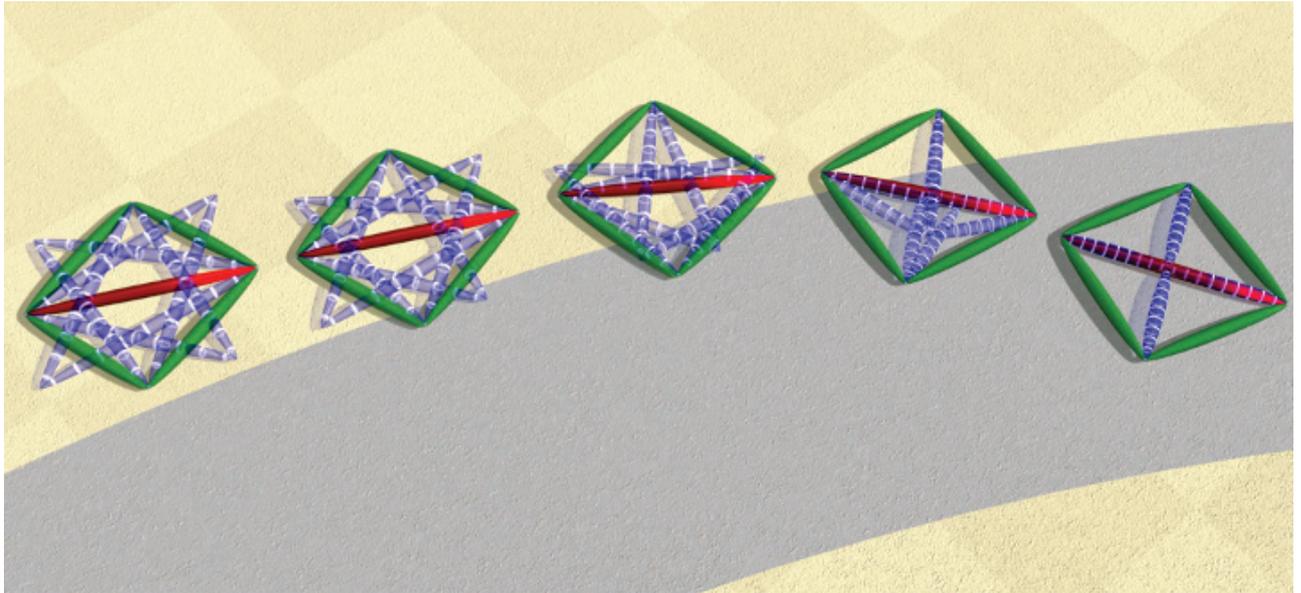


33

**Figura 5:** Simulación de dinámicas evolutivas en un ecosistema bidimensional de plantas virtuales. Fuente: José David Fernández Rodríguez <http://geb.uma.es/people/jose-david-fernandez-rodriguez>

lutivas en ecosistemas de plantas virtuales que presenté en 2012. Actualmente, las líneas de investigación más destacadas con estos tipos de simulaciones son el estudio de cómo se desarrollan los organismos multicelulares (englobado dentro de la Embriología Artificial), especialmente en lo que se refiere a la interacción entre el organismo en desarrollo y la información genética que dirige y modula dicho desarrollo, así como el estudio de cómo surge la complejidad en la morfología y el comportamiento de dichos organismos.

En definitiva, la Vida Artificial puede considerarse como una arriesgada pero estimulante apuesta para reflexionar sobre algunos de los interrogantes y cuestiones abiertas de la Biología desde un punto de vista no convencional, que nos ayuda a tomar perspectiva a la hora de abordar dichas cuestiones.



**Figura 6:** Simulación de organismos bidimensionales que evolucionan para seguir un camino. No hay mecanismos de control explícito, sino que distintos comportamientos surgen de la interacción entre elementos sensoriales y motores en una simulación física simplificada. La morfología de los organismos se configura mediante un proceso de desarrollo artificial. Fuente: Daniel Lobo <http://geb.uma.es/living-matter/behavior-finding>

**Bibliografía citada:**

1. Christopher Langton (editor), 1987. Artificial Life: Proceedings Of An Interdisciplinary Workshop On The Synthesis And Simulation Of Living Systems. Editorial Westview Press. ISBN 9780201093568.
2. Christopher Langton, 1997. Artificial Life: An Overview. Editorial The MIT Press. ISBN 9780262621120.
3. Rafael Lahoz Beltrá, 2004. Bioinformática: Simulación, Vida Artificial e Inteligencia Artificial. Editorial Díaz De Santos. ISBN 8479786450.
4. Jose David Fernández Rodríguez, 2012. The Evolution of Diversity in the Structure and Function of Artificial Organisms. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga.



# El Álbum de Ramón Margalef

La revista "*Encuentros en la Biología*" completa su recuerdo-homenaje a Margalef con motivo del décimo aniversario de su fallecimiento con una galería de fotografías de Margalef en familia, Margalef como docente e investigador y de recuerdos y homenajes póstumos. Se completa este álbum con varias tablas con datos biográficos y científicos del autor, reproducidas de la excelente biografía que Francesc Peters publicó en el *Limnology and Oceanography Bulletin* (editado pro la *American Society of Limnology and Oceanography*) en 2010.

35

## RAMÓN MARGALEF Y FAMILIA



**Figura 1:** Ramón Margalef y su hermana Vicenta hacia 1924. Cortesía de la familia Margalef (reproducido de F. Peters. *Limnology and Oceanography Bulletin* 19(1): 2-15, 2010)



36



**Figura 2:** Ramón Margalef y María Mir, su esposa, el 6 de abril de 1952. Cortesía de la familia Margalef (reproducido de F. Peters. *Limnology and Oceanography Bulletin* 19(1): 2-15, 2010)



**Figura 3:** Ramón Margalef y sus hijos Bartomeu, Nuria, Neus y Ramón hacia 1962. Cortesía de la familia Margalef (reproducido de F. Peters. *Limnology and Oceanography Bulletin* 19(1): 2-15, 2010)



37

**Figura 4:** Una de las últimas fotografías de Ramón Margalef, tomada en el jardín de su casa en Aiguafreda en 2004. Cortesía de la familia Margalef (reproducido de F. Peters. *Limnology and Oceanography Bulletin* 19(1): 2-15, 2010)

## RAMÓN MARGALEF, CIENTÍFICO Y DOCENTE



**Figura 5:** Ramón Margalef dando clases de prácticas (reproducido de F. Peters. *Limnology and Oceanography Bulletin* 19(1): 2-15, 2010)



38



**Figura 6:** Con componentes de su equipo de trabajo a bordo del *Cornide de Saavedra* durante la travesía *Atlor II* por el África noroccidental, en marzo de 1973. De izquierda a derecha: Ferrán Vallespinós, Dolors Blasco, Guillem Mateu, Miquel Alcaraz, Santi Fraga, Josefina Castellví y Ramón Margalef (reproducido de F. Peters. *Limnology and Oceanography Bulletin* 19(1): 2-15, 2010)

## EN RECUERDO DE MARGALEF



**Figura 7:** Placa municipal en recuerdo de Ramón Margalef colocada en enero de 2008 en la fachada de la que fue su casa en Ronda del Guinardó 31 (Barcelona).

### ORGANISMS NAMED AFTER RAMON MARGALEF

*Acartia margalefi* Alcaraz, 1976 (Animalia, Arthropoda, Copepoda)

*Alexandrium margalefi* Balech, 1994 (Protoctista, Dinoflagellata)

*Amphora margalefi* var. *lacustris* Sanchez, 1993 (Protoctista, Bacillariophyta)

*Antillobia margalefi* Altaba, 1993 (Animalia, Mollusca, Gastropoda)

*Echinogammarus margalefi* Pinkster, 1973 (Animalia, Arthropoda, Amphipoda)

*Ephemeropus margalefi* Alonso, 1987 (Animalia, Arthropoda, Cladocera)

*Hemimysis margalefi* Alcaraz, Riera & Gili, 1986 (Animalia, Arthropoda, Mysidacea)

*Lecane margalefi* de Manuel, 1994 (Animalia, Rotifera)

*Lepadella margalefi* De Ridder, 1964 (Animalia, Rotifera)

*Microcharon margalefi* Sabater & de Manuel, 1988 (Animalia, Arthropoda, Isopoda)

*Oncidium margalefi* (Plantae, Angiospermophyta, Liliopsida, Orchidales)

*Oxytoxum margalefi* Rampi, 1969 (Protoctista, Dinoflagellata)

*Picarola margalefi* Cros & Estrada, 2004 (Protoctista, Haptophyta, Coccolithophorida)

*Pseudoniphargus margalefi* Notenboom, 1987 (Animalia, Arthropoda, Amphipoda)

*Stephos margalefi* Riera, Vives & Gili, 1991 (Animalia, Arthropoda, Copepoda)

*Typhlocirolana margalefi* Pretus, 1986 (Animalia, Arthropoda, Isopoda)



**Figura 8:** Logotipo del Premio Ramón Margalef de Ecología de 2012



**Figura 9:** Cartel de los actos de homenaje a Ramón Margalef por las Universidades de Barcelona y Girona en el décimo aniversario de su fallecimiento.



## SHORT HIGHLIGHTED BIOGRAPHY

- 1919 Birth of Ramon Margalef – Barcelona, May 16th
- 1933 Enters commerce trade school
- 1936–1939 Spanish Civil war
- 1938–1939 Forced enrollment into the *republican* army
- 1939 Joins the Institució Catalana d'Història Natural
- 1939–1943 Conscripted into the *nationalist* army (intermittently)
- 1943 Death of his mother
- 1943 First scientific publication
- 1944 Scholarship at the Instituto de Biología Aplicada (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC).
- 1945 Completes high school degree – September 21st
- 1945 Starts studies of Natural Sciences at the University of Barcelona
- 1948 Stays in Italy and Switzerland
- 1949 Establishes a marine lab in Blanes for the CSIC. First Director of this lab.
- 1949 Finishes his university degree – December 9th
- 1951 Doctoral dissertation: *Temperatura y morfología de los seres vivos*
- 1952 Research position at the Instituto de Investigaciones Pesqueras (CSIC)
- 1952 Married Maria Mir – July 4th
- 1953 Birth of Neus Margalef i Mir – May 30th
- 1955 Birth of Núria Margalef i Mir – March 18th
- 1956 Two-month trip to America and talk at Scripps
- 1956 Birth of Ramon Margalef i Mir – September 14th
- 1958 Birth of Bartomeu Margalef i Mir – January 22nd
- 1958 Publication of *Information theory in ecology*
- 1965 Lectures at the University of Chicago
- 1965–1967 Director of Instituto de Investigaciones Pesqueras
- 1967 Ecology Chair at the University of Barcelona – June 1st
- 1968 Publication of *Perspectives in ecological theory*
- 1969 Death of his father
- 1971 Sahara II cruise with the new Spanish research vessel *Cornide de Saavedra*
- 1972 Prince Albert I Medal
- 1974 Publication of textbook *Ecología*
- 1978 Trip to Australia; Maria is hospitalized after suffering an accident – August
- 1980 A.G. Huntsman Award
- 1983 Publication of textbook *Limnología*
- 1984 Ramón y Cajal Prize
- 1986 Retirement as Professor of the University of Barcelona
- 1987 Elected Professor Emeritus of the University of Barcelona – April 8th
- 1989 Naumann-Thieneman Medal
- 1993 Retirement as Professor Emeritus of the University of Barcelona – September 30th
- 1995 International Ecology Institute Prize
- 2000 ASLO Lifetime Achievement Award
- 2004 Death of Ramon Margalef – Barcelona, May 23rd
- 2004 Death of Maria Mir – May 30th

## AWARDS AND HONORS

- 1972. Prince Albert I Medal, Institut Océanographique de Paris.
- 1973. Doctor Honoris Causa, Université Aix-Marseille, France.
- 1980. A.G. Huntsman Award for Excellence in Marine Research, Bedford Institute of Oceanography.
- 1983. Doctor Honoris Causa, Institut Químic de Sarrià, Catalunya, Spain.
- 1983. Narcís Monturiol Medal, Department of Universities, Research and Information Society of the Catalan Government.
- 1984. Member of the National Academy of Sciences of the USA.
- 1984. Santiago Ramón y Cajal Prize, Spanish Ministry of Education and Science.
- 1985. Doctor Honoris Causa, Universitat Ramon Llull, Catalunya, Spain.
- 1987. Doctor Honoris Causa, Université Laval, Québec, Canada.
- 1987. Honorary Foreign Member Award, Ecological Society of America.
- 1989. Italgas prize for Environmental Sciences.
- 1989. Naumann-Thienemann Medal, International Association of Theoretical and Applied Limnology (SIL)
- 1990. Alexander von Humboldt Award.
- 1990. Fundació Catalana per la Recerca (Catalan Foundation for Research) Prize, Catalan Government.
- 1990. Knight commander of the Order of Alfonso X the Wise.
- 1993. International Prize for the Environment San Francesco d'Assisi, Italy.
- 1994. Doctor Honoris Causa, Universidad Nacional de Luján, Argentina.
- 1995. International Ecology Institute Prize.
- 1997. Sant Jordi Cross Award of the Catalan Government
- 1998. Grand Prix d'Océanographie de Monaco.
- 1998. Honorary Forestry Engineer of the Polytechnic University of Madrid, Spain.
- 1999. Doctor Honoris Causa, Universitat d'Alacant, Spain.
- 1999. A Ramon Margalef prize in Ecology is established by the Catalan Studies Institute
- 2000. ASLO Lifetime Achievement award.
- 2002. Gold Medal of the CSIC.
- 2003. Gold Medal Award of the Catalan Government.

## POSTHUMOUS

- 2004. Award of the Department of the Environment of the Catalan Government
- 2004. The Ramon Margalef prize in Ecology is established by the Catalan Government.
- 2005. The main building of the School of Biology of the University of Barcelona is named after Ramon Margalef.
- 2005. A Ramon Margalef prize is established by the Social Council of the University of Barcelona to a student paper in Experimental or Health Sciences.
- 2009. A new research vessel of the Spanish Oceanographic Institute is named after Ramon Margalef.
- 2009. ASLO's Excellence in Education Award is named after Ramon Margalef.

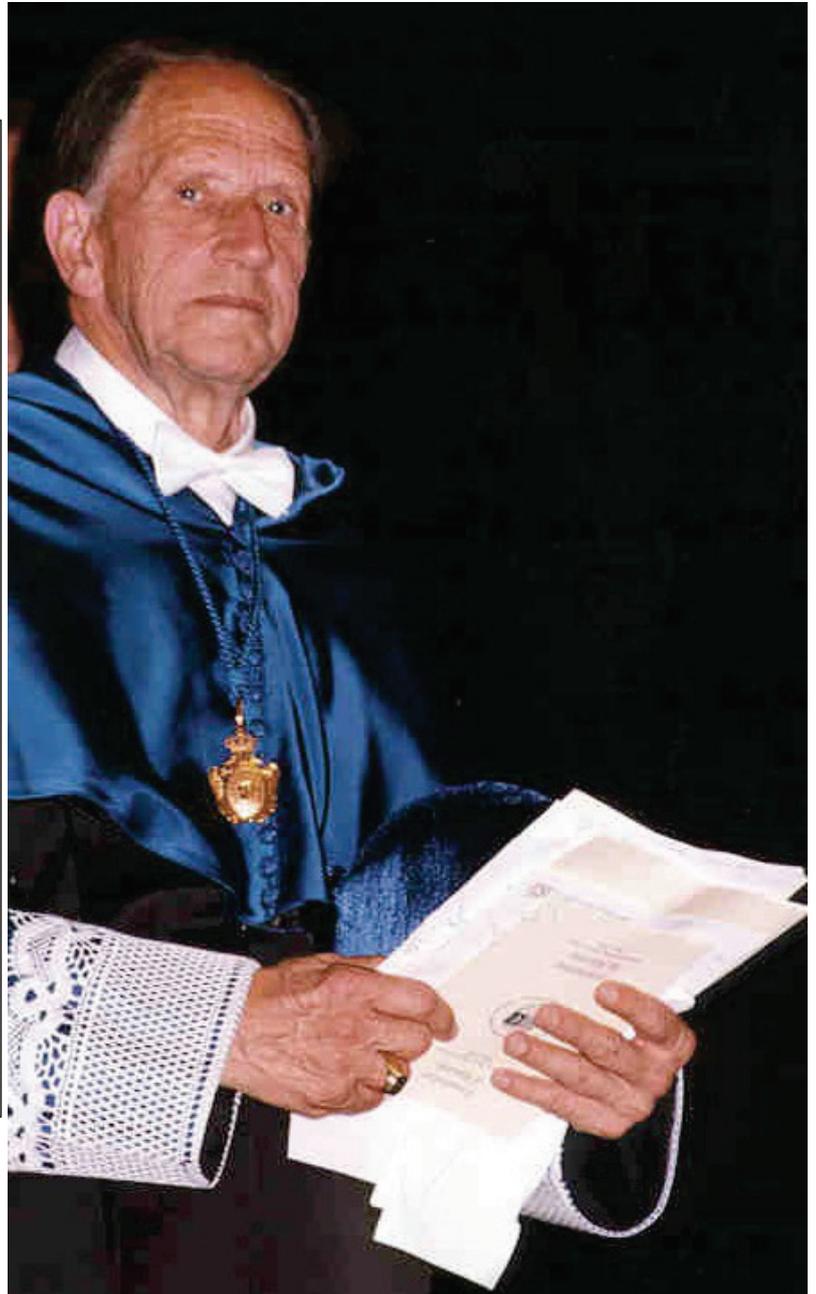


### DOCTORAL THESIS DIRECTED

1971. Dolors Blasco Font de Rubinat. Acumulación de nitritos en determinados niveles marinos por acción del fitoplancton.
1972. M. Dolors Planas Mont. Composición, ciclo y productividad del fitoplancton del lago de Banyoles.
1973. Joandomènec Ros. Opisthobranchios (*Gastropoda: Euthyneura*) del litoral Ibérico: Estudio faunístico y ecológico.
1974. M. Rosa Miracle Solé. Estructura y dinámica de las poblaciones de la comunidad zooplanctónica del lago de Banyoles.
1976. Antonio Cruzado Alorda. Afloramiento costero en el Atlántico nororiental. Análisis del ecosistema en sus aspectos de hidrografía y producción primaria.
1976. Marta Estrada Miyares. Estudios sobre las poblaciones de organismos acuáticos en medio no uniforme.
1976. Felipe Fernández González. Influencia de la luz, temperatura y materia orgánica particulada en la actividad metabólica y en la alimentación de los copépodos planctónicos.
1976. F Xavier Niell Castanera. Estudios sobre la estructura, dinámica y producción del fitobentos intermareal (facies rocosa) de la Ría de Vigo.
1976. Julia Toja. Estudio limnológico comparado de dos embalses con distinto grado de eutrofia (Aracena y La Minilla).
1976. Ferran Vallespinós Riera. Estudio comparado del metabolismo del nitrógeno en bacterias y cianofíceas: relaciones con el ciclo del carbono e importancia ecológica.
1977. Miquel Alcaraz Medrano. Ecología, competencia y segregación en especies congénéricas de copépodos (*Acartia*).
1977. Joan Armengol Bachero. Los crustáceos planctónicos en los embalses españoles.
1978. Narcís Prat Fornells. Ecología y sistemática de los Quironómidos (*Insecta Diptera*) de los embalses españoles.
1979. Francesc Amat Doménech. Diferenciación y distribución de las poblaciones de *Artemia* (*Crustacea, Branchiopoda*) de España.
1980. Jordi Flos Bassols. Material en suspensió oceànic i la seva distribució en el Mediterrani Occidental.
1981. Francisco A. Comín. Limnología de las lagunas costeras del delta del Ebro: características físico químicas y fitoplancton de la Encañizada.
1981. Tecla Riera Figueras. Variabilitat morfològica de *Tropocyclops* i *Temonax*: Aproximació crítica a l'ús generalitzat de la biometria en la taxonomia dels copèpodes.
1983. Carlos A. Gracia i Alonso. La clorofila en los encinares del Montseny: Interpretación como una optimización del aprovechamiento de la luz.
1983. M. Pilar López Laseras. Aguas salinas epicontinentales próximas a la costa mediterránea española: estudio del medio.
1984. Enric Ballesteros i Sagarra. Els vegetals i la zonació litoral: espècies i factors que influeixen en la seva distribució.
1985. Miguel Alonso García-Amilibia. Las lagunas de la España peninsular: taxonomía, ecología y distribución de los cladóceros.
1985. Francisco Gómez Figueiras. Ecología del fitoplancton de la Ría de Pontevedra.
1985. Josep Peñuelas Reixach. Briòfits i fanerògames com a invasors de les aigües dolces: distribució, pigments, fonts de carboni i l'obstacle dels espais aeris.
1985. Javier Romero Martinengo. Estudio ecológico de las fanerógamas marinas de la costa catalana: producción primaria de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en las Islas Medes.
1985. Luís Zúñiga Moliner. Ecología de los entomostráceos planctónicos de los lagos nord patagónicos.
1986. Celia Marrasé Peña. Experimentos multifactoriales con plancton marino en microcosmos.
1987. Jordi Catalan Aguila. Limnologia de l'estany Redó (Pirineu Central). El sistema pelàgic d'un llac profund d'alta muntanya.
1987. Ricardo Génova. Análisis y significado de los anillos de crecimiento en dos especies forestales: *Pinus uncinata* y *Pinus silvestris* en la Península Ibérica.
1987. Emilia Gutiérrez Merino. Dendrocronología de *Fagus silvatica*, *Pinus uncinata* y *P. silvestris* en Catalunya.
1987. Sergi Sabater. Estudi de les poblacions d'algues del riu Ter.
1988. Anna Àvila i Castells. Balanç d'aigua i nutrients en una conca d'alzinar al Montseny. Codirector: Jaume Terrades i Serra.
1988. Ricardo Iglesias. Diversidad taxonómica y ataxonómica en poblaciones de insectos: un ejemplo del ecosistema restinga.
1988. Antoni Palau Ybars. El embalse de Baserca (Pirineos centrales, Lérida). Estudio limnológico de un embalse nuevo de alta montaña con bombeo.
1988. Xavier Tomas Quevedo. Diatomeas de las aguas epicontinentales saladas del litoral mediterráneo de la Península Ibérica.
1989. Olga Delgado. Sistema carbónico-carbonatos en el Mediterráneo noroccidental y relación con las principales comunidades fitobentónicas productoras de carbonatos.
1990. M. José Gil Quílez. Estudios sobre ácaros de aguas continentales españolas.
1990. Agustín Lobo Aleu. Estudios sobre la organización espacial del bentos marino. Una aproximación a través del análisis de imagen digital y de la modelización.
1994. Jordi Camp i Sancho. Aproximaciones a la dinámica ecológica de una bahía estuárica mediterránea.
1997. Gloria Vilaclara i Fatjo. Registro de erupciones volcánicas en las diatomitas lacustres de Tlaxcala, México.
2001. M. Luísa Cros i Miguel. Planktonic coccolithophores of the NW Mediterranean.

### ORGANISMS NAMED AFTER RAMON MARGALEF

- Acartia margalefi* Alcaraz, 1976 (Animalia, Arthropoda, Copepoda)
- Alexandrium margalefi* Balech, 1994 (Protoctista, Dinoflagellata)
- Amphora margalefi* var. *lacustris* Sanchez, 1993 (Protoctista, Bacillariophyta)
- Antillobia margalefi* Altaba, 1993 (Animalia, Mollusca, Gastropoda)
- Echinogammarus margalefi* Pinkster, 1973 (Animalia, Arthropoda, Amphipoda)
- Ephemeropon marginatus* Alonso, 1987 (Animalia, Arthropoda, Cladocera)
- Hemimysis margalefi* Alcaraz, Riera & Gili, 1986 (Animalia, Arthropoda, Mysidacea)
- Lecane margalefi* de Manuel, 1994 (Animalia, Rotifera)
- Lepadella margalefi* De Ridder, 1964 (Animalia, Rotifera)
- Microcharon margalefi* Sabater & de Manuel, 1988 (Animalia, Arthropoda, Isopoda)
- Oncidium margalefi* (Plantae, Angiospermophyta, Liliopsida, Orchidales)
- Oxytoxum margalefi* Rampi, 1969 (Protoctista, Dinoflagellata)
- Picicola margalefi* Cros & Estrada, 2004 (Protoctista, Haptophyta, Coccolithophorida)
- Pseudoniphargus margalefi* Notenboom, 1987 (Animalia, Arthropoda, Amphipoda)
- Stephos margalefi* Riera, Vives & Gili, 1991 (Animalia, Arthropoda, Copepoda)
- Typhlocirolana margalefi* Pretus, 1986 (Animalia, Arthropoda, Isopoda)



**Figura 10:** Ramón Margalef durante el acto de su investidura como Doctor *Honoris Causa* por la Universidad de Alicante en 1999.

